Studier över katod- och kanalstråle-luminiscens med diskontinuerligt spektrum

och därmed sammanhängande företeelser

AKADEMISK AVHANDLING

SOM MED TILLSTÅND AV

VITTBERÖMDA FILOSOFISKA FAKULTETENS I UPPSALA

MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA SEKTION

FÖR VINNANDE AV FILOSOFISK DOKTORSGRAD

TILL OFFENTLIG GRANSKNING FRAMSTÄLLES

AV

EMANUEL OHLON

FIL. LIC. AV SÖDERMANLANDS-NERIKES NATION

ONSDAGEN DEN 25 NOVEMBER 1914 KL. 10 F. M.

Å FYSISKA LÄROSALEN

UPPSALA 1914

K. W. APPELBERGS BOKTRYCKERI

Studier över katod- och kanalstråle-luminiscens med diskontinuerligt spektrum

och därmed sammanhängande företeelser

AKADEMISK AVHANDLING

SOM MED TILLSTÅND AV

VITTBERÖMDA FILOSOFISKA FAKULTETENS I UPPSALA

MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA SEKTION

FÖR VINNANDE AV FILOSOFISK DOKTORSGRAD

TILL OFFENTLIG GRANSKNING FRAMSTÄLLES

AV

EMANUEL OHLON

FIL. LIC. AV SÖDERMANLANDS-NERIKES NATION

ONSDAGEN DEN 25 NOVEMBER 1914 KL. 10 F. M.

Å FYSISKA LÄROSALEN

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

UPPSALA 1914

K. W. APPELBERGS BOKTRYCKERI

FÖRORD.

Materialet till föreliggande avhandling har insamlats läsåret 1913—1914 samt under den gångna sommaren. Det experimentella utförandet har ägt rum å Uppsala universitets fysiska institution.

Det är mig en kär plikt att till min högt värderade lärare, Herr Professor D:r G. Granqvist, framföra ett vördsamt tack, för det jag genom hans anvisning införts på ett intressant forskningsområde och för det oegennyttiga bistånd, han alltfort givit mig i arbetet, såväl genom värdefulla råd som genom beredvillighet att ställa apparater till mitt förfogande.

Min vän, Docenten D:r Fritz Carlson, är jag stor tack skyldig för hans vänlighet att granska den matematiska framställningen i avhandlingen angående ett longitudinellt magnetfälts inverkan på katodstrålar och för de goda råd, han därvid lämnat.

Uppsala, november 1914.

Emanuel Ohlon.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING.

Sid.

Kap. I. **Katodstråleluminiscens med diskontinuerligt spektrum.**

I. Historik 1
II. Försöksanordning 5
III. Observationsmetod 21
IV. Observationsresultat 22
V. Allmänna slutsatser 43
VI. Förslag att medels katodstråleexcitation av fasta salter undersöka uppdelningen av metallers spektrallinjer i elektrostatiska fält 52
VII. Salternas efterfärger 53
VIII. Katodstrålars förstoftande inverkan 57

Kap. II. **Kanalstråleluminiscens med diskontinuerligt spektrum.**

I. Historik 59
II. Försöksanordning 63
III. Observationsresultat 66
IV. Allmänna slutsatser och jämförelser mellan katod- och kanalstrålars luminiscensverkan 74
Sammanfattning 80

KAP. I.

Katodstråleluminiscens med diskontinuerligt spektrum.

I. Historik.

Upptäckten av katodstrålarna betingades som bekant av deras egenskap att framkalla luminiscens vid bombardemang av glaset i det urladdningsrör, vari de uppstå. År 1859 upptäckte sålunda *Plücker* katodstrålarna, genom att han kom att observera den gröna luminiscens, som glaset mitt emot katoden visar vid urladdning under lågt tryck.

Redan samma år hade otvivelaktigt *E. Becquerel*[1] studerat katodoluminiscensen hos en del ämnen utan att på frågans dåvarande stadium genomskåda fenomenets sammanhang. Han inneslöt proven i evakuerade med insmälta trådar försedda glasrör och konstaterade på så sätt vid anbringande av ett vakuum på cirka 1 tusendels atm., att luminiscensljuset i närheten av katoden var långt kraftigare än i andra ställen av röret.

Den förste, som anade katodoluminiscensens egentliga orsak, var *W. Crookes*. Han antog, att katodstrålarna bestodo av materiella korpuskler, som med oerhörd hastighet utslungades från katoden vinkelrätt mot dess yta. Således inseende katodstrålarnas rätta natur, kunde Crookes vid utforskandet av deras luminiscensverkan på lämpligare sätt än förut skett variera försöksbetingelserna. I en första un-

[1] E. Becquerel, Ann. chim. et phys. (3) *55*, p. 92—97 (1859).

dersökning[1] konstaterar han olika glassorters olika luminiscensegenskaper, och strax därpå upptäcker han[2] rubinens diskontinuerliga katodoluminiscensspektrum. Alla förut undersökta katodoluminiscerande ämnen hade visat kontinuerliga spektra eller bandspektra.

I en tredje avhandling berättar *Crookes*[3] om katodoluminiscensen hos en serie ämnen, företrädesvis oxider och karbonat. Han finner diskontinuerliga spektra hos bl. a. soda och litiumkarbonat. Den förra substansen, som lyser gult, ger natriums gula linje, och den senare substansen med röd luminiscens visar i spektroskopet litiums röda och blå linjer. Alla övriga prov, som luminiscera, giva kontinuerliga spektra, frånsett de sällsynta jordarterna, vilka alla utan undantag och oberoende av försöksbetingelserna i urladdningsröret, giva diskontinuerliga spektra. I en följd av arbeten redogöra så *Crookes* och *Lecoq de Boisbaudran* samt deras efterföljare för vidare studier på området, vilka alltmera kommo att röra sig om de sällsynta jordarternas diskontinuerliga och karaktäristiska luminiscensspektra. Jag redogör ej för dessa forskningar såsom liggande utanför mitt egentliga ämne. Detta forskningsområde finnes för övrigt utförligt behandlat i *Kaysers Handbuch der Spectroscopie* IV sid. 692 och sid. 792. I senare tid har *G. Urbain*[4] publicerat en större avhandling på hithörande gebiet, där katodoluminiscensen utnyttjas som reagens för att kemiskt särskilja närbesläktade, sällsynta jordartsmetaller. Samma ändamål åsyftade även till större delen Crookes och Lecoq de Boisbaudran i nyss nämnda arbeten.

I det följande förbigår jag de forskningar över katodoluminiscens, vilka finnas refererade i Kaysers bemälta Hand-

---

[1] W. Crookes, Phil. Trans. *170, I*, p. 135—164 (1879).

[2] W. Crookes, Phil. Trans. *170, II*, p. 641—662 (1879).

[3] W. Crookes, Proc. Roy. Soc. *32*, p. 206—213 (1881); Nat. *24*, p. 89—91 (1881); Ann. chim. et phys. (5) *23*, p. 555—565 (1881); C. R. *92*, p. 1281—1283 (1881).

[4] G. Urbain, Ann. chim. et phys. (8) *18*, 222, 289 (1909).

buch der Spectroscopie IV, och vilka ej intimt sammanhänga med mitt föreliggande ämne, som särskilt avser utforskandet av katodoluminiscens med diskontinuerligt spektrum[1].

Bortsett från utforskandet av de sällsynta jordarterna dröjde det ända till år 1908, innan Crookes' upptäckt, att $Na_2\,CO_3$ och $Li_2\,CO_3$ vid katodstrålars stöt kunna giva linjespektra, fullföljdes beträffande andra ämnen. Det skedde i ett arbete av *J. Trowbridge*[2]. Han utgick från den förutsättningen, att katod- och kanalstrålar uppväcka likartad luminiscens hos de ämnen, som bombarderas därav. I vissa fall är dock skillnaden mellan deras verkan skenbart grundväsentlig såsom t. ex. vid $Li\,Cl$, där kanalstrålarna, ifall deras hastighet är tillräckligt stor, ger röd luminiscens, som i spektroskopet ger litiums röda linjer. Katodstrålarna däremot skulle enligt dittills gjorda forskningar endast giva en blå luminiscens med kontinuerligt spektrum, liknande den kanalstrålar giva vid mindre hastighet. Nu finner emellertid Trowbridge, att, om katodstrålarna koncentreras genom ett

[1] Sedan Kaysers Handbuch utkommit av trycket ha följande nya arbeten över katodoluminiscens hos fasta kroppar sett dagen utan att för denna undersökning erbjuda större intresse:

H. W. Morse, Proc. Amer. Acad. *43*, p. 1 (1907).

E. Gehrcke u. O. Reichenheim, Verh. d. D. Phys. Ges. *9*, 593 (1907).

E. Goldstein, Verh. d. D. Phys. Ges. *9*, 598 (1907).

Bestelmeyer u. S. Marsh, Verh. d. D. Phys. Ges. *9*, 758—763 (1907).

H. Konen, Verh. d. D. Phys. Ges. *9*, 774 (1907).

O. Fischer, Diss. Bonn (1908).

E. L. Nichols a. E. Merritt, Phys. Rev. *28*, 349 (1909).

O. Reichenheim, Verh. d. D. Phys. Ges. *11*, 45 (1909).

V. Carlheim-Gyllensköld, Arkiv f. Mat., Astr. och Fys. *4*, N:o 33, S. 1—44 (1908).

A. Odencrants, Arkiv f. Mat., Astr. och Fys. *6*, N:o 27 (1910).

P. Lenard, Sitz.-Ber. Heidelb. Akad., math.-naturw. Kl. (1912). 5. Abh. 43 S.

E. F. Farnau, Journ. of Phys. Chem. *17*, 637—656 (Nov. 1913).

E. L. Nichols and H. L. Howes, Phys. Rev. (2), *4*, 18 (1914).

[2] J. Trowbridge, Proc. Amer. Acad. *43*, p. 401 (1908).

longitudinellt magnetfält, anbragt i strålarnas rörelseriktning, och om deras hastighet är stor, även katodstrålarna giva den röda luminiscensen hos *Li Cl*, varvid ävenledes litiums röda linjer tydligt skönjas. Genom att förmedels samma försöksanordning utsätta *Rb Cl* och *Cs Cl* för kraftig verkan från katodstrålarna lyckades det Trowbridge att vid *Rb Cl* erhålla en röd luminiscens med rubidiums röda linjer och vid *Cs Cl* en blå luminiscens med cæsiums blåa linjer. Flera ämnen undersöker han ej.

Vid samtliga linjeluminiscerande ämnen synes omkring den skarpast lysande fläcken, som ger linjespektrum, en luminiscens av den färgton, som ämnet utan koncentration av strålarna ger, och som i spektroskopet framvisar bandspektrum. Sistnämnda luminiscens härrör från spridda strålar, vars koncentration genom magnetfältet ej genomförts. Betingelsen för uppkomsten av den ena eller andra luminiscensen skulle alltså enl. Trowbridge vara nära förknippad med måttet av katod- eller kanalstrålarnas intensitet per ytenhet.

Under mina[1] studier över katod- och kanalstråleluminiscensens förändring med tiden fann jag, att *Na J* och *Na Br* vid tillräckligt kraftig stöt från katodstrålarnas sida gav gul luminiscens med *D*-linjen tydligt synlig. I slutet av min berättelse över ifrågavarande forskningar gav jag uttryck åt den förmodan, att katodstrålarna över huvud taget skulle vara istånd att ovanför vissa tröskelvärden på spänning och strömstyrka i urladdningsröret framkalla linjeluminiscens hos de bombarderade oorganiska ämnena.

Till denna slutsats kom jag analogiledes genom en då nyligen offentliggjord avhandling över kanalstråleluminiscens av *Stark* och *Wendt*[2], vilken jag i annat sammanhang kommer att referera i detta arbete. De konstaterade, att såväl linje- som bandspektra vid kanalstråleluminiscens framträda först ovanför tydligt markerade tröskelvärden på

[1] E. Ohlon, Arkiv f. Mat.. Astr. och Fys. *8*, N:o 22 (1913).
[2] J. Stark u. G. Wendt, Ann. d. Phys. *38*, 669, 690 (1912).

urladdningspotentialen. Dessutom funno de, att strömstyrkan och att anjonen i det luminiscerande saltet ej hade något inflytande på dessa tröskelvärden. Alla natriumsalter giva således *D*-linjen vid samma tröskelvärde på kanalstrålarnas hastighet, oberoende i övrigt av strömstyrkan i röret och natriumsaltets kemiska konstitution o. s. v. För de olika katjonerna varierade dock dessa tröskelvärden betydligt.

Att katodstrålarna ej fullt skulle förhålla sig på samma sätt, kunde man sluta redan av Trowbridge's ovannämnda undersökning, där ju strömtätheten, d. v. s. de påfallande elektronernas antal per ytenhet spelade framstående roll. En närmare undersökning av hithörande förhållanden är det jag först och främst förelagt mig till uppgift i föreliggande arbete.

II. Försöksanordning.

Sedan jag med användande av ett institutionen tillhörigt katodstrålerör, vilket vid hög förtunning genomsändes av kraftiga urladdningar från ett större induktorium, övertygat mig om, att katodstrålar hos en hel del salter uppväcka linjeluminiscens, där resp. metallers linjer äro tydligt synliga, blev målet närmast att utröna förutsättningen för bandluminiscensens övergång i linjeluminiscens.

I första rummet åsyftade jag då utforskandet av strömstyrkans och urladdningspotentialens olika inverkan, d. v. s. inflytandet från en variation på katodstråleelektronernas antal och hastighet. Det gällde alltså för mätningarnas utförande att finna en likströmskälla med hög spänning. Som sådan användes en större influensmaskin med 20 roterande skivor av 30 cm:s diameter vardera från Oskar Leuners Mechanisches Institut Dresden. Influensmaskinen drevs med en 32-volts motor (från De Lavals E. A. B.). Energi för motordriften erhölls från ackumulatorsbatteri. I och för variation av motorns rotationshastighet, varigenom ju även

rotationshastigheten hos influensmaskinens skivor och således strömstyrkan i urladdningsröret varieras — strömstyrkan hos influensmaskinen är nämligen proportionell mot skivantalet och mot skivornas rotationshastighet — var vid motorns borstläge förmedels grov kabelledning inkopplat ett variabelt motstånd. Motståndet var så uppställt, att det bekvämt kunde varieras från observationsplatsen. Influensmaskinen hade för övrigt den egenskapen, att den av densamma levererade strömstyrkan var oberoende av polspänningen mellan 3,000 och 30,000 volt.

I fig. 1 är en skematisk bild av försöksanordningen framställd. Själva urladdningsröret angives av bokstäverna A och B, som äro anknutna till rörets elektroder. Strömmen lämnas, såsom nyligen förmälts, av influensmaskinen I och genomgår galvanometern G. Densamma var av d'Arsonvals typ, aperiodisk, samt avshuntad så, att strömstyrkan bekvämt kunde avläsas. Avläsningarna skedde på vanligt sätt genom kikare och skala. Vid ett avstånd mellan spegel och skala på 1.82 m. motsvarade en skaldels utslag 7.7×10^{-6} amp. Genom särskilda försök övertygade jag mig om, att galvanometerutslagen inom det av mig använda strömstyrkeintervallet voro proportionella mot strömstyrkorna. Galvanometerns ena klämskruv var jämte urladdningsrörets negativa pol och den Braunska elektrometerns V hylle genom grov kabelledning förbunden med jorden. Dessutom var galvanometerns metallhylle i ledande förbindelse med den till jorden avledda klämskruven.

Spänningen mättes med den nyss omnämnda Braunska elektrometern V. Som denna endast är avsedd och graderad (med en skaldel för 100 volt) för spänningar från 100 till 3,500 volt, och de spänningar, som skulle uppmätas, ofta i hög grad överskredo sistnämnda belopp, kopplades medels fin koppartråd, när spänningar utöver 3,500 volt förefanns, parallellt med rörets elektroder tvenne på paraffin som isolerande underlag ställda Leydnerflaskor C_1 och C_2 i serie, varefter spänningen mellan den jordledda katoden

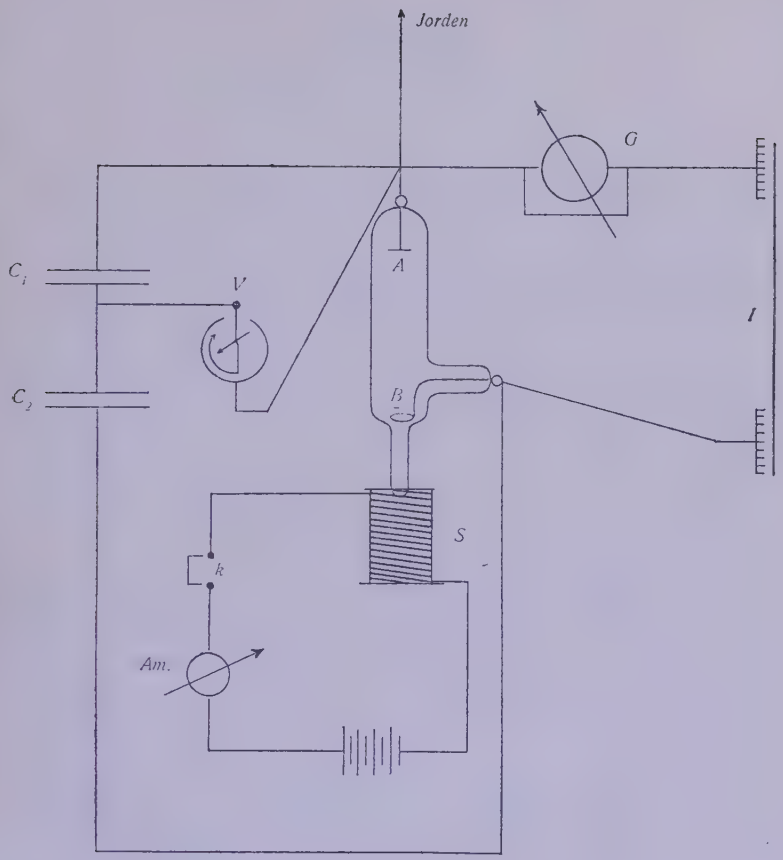

Fig. 1.

och ena Leydnerflaskans motsatta beläggning uppmättes, så som fig. 1 visar. Ur den sålunda bestämda spänningen V_1 hos en flaska beräknas den sökta spänningen V mellan elektroderna på följande sätt: Låt C_1 och C_2 betyda kapaciteterna samt V_1 och V_2 spänningarna hos Leydnerflaskorna C_1 och C_2 resp.

$$\text{Då är: } V = V_1 + V_2$$
$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$
$$\therefore\ V = V_1 + \frac{C_1 V_1}{C_2} = V_1 \left(1 + \frac{C_1}{C_2}\right)$$

Att genom denna försöksanordning för uppmätning av spänningar högre än 3,500 volt ingen extra felkälla införes, har jag övertygat mig om genom särskilda försök. Jag kommer att längre fram redogöra härför.

Förhållandet C_1/C_2 fastställdes på följande sätt. I en Wheatstone's brygganordning för växelström och telefon inkopplades de bägge kondensatorerna i var sin ledning, varefter den punkt hos mättråden, på vilken glidkontakten vid tonminimum stod, bestämdes. I en ny Wheatstone's brygga för likriktad ström och galvanometer, där samma mättråd som förut kom till användning, ställdes den med galvanometerns ena pol förbundna glidkontakten på den nyss bestämda punkten av mättråden, varefter en som jämförelsemotstånd begagnad proppreostat av manganin från Otto Wolff, Berlin urkopplades, till dess strömlöshet i bryggan erhölls. Galvanometerns andra pol stod härunder i förbindelse med en kontakt på reostaten, vilken härigenom kom att bilda två grenar. Då sålunda förhållandet mellan motstånden hos de genom glidkontakten avdelade längderna på mättråden, vilket är = förhållandet mellan motstånden hos reostatens två grenar, är känt, är samtidigt det sökta förhållandet mellan kapaciteterna funnet. Det befanns vara = 2.68. Vid den i fig. 1 skisserade försöksanordningen motsvarar följaktligen 1 skaldel på elektrometern 368 volt. Trots det att förhållandet mellan kapaciteterna fastställts med växelström, men kondensatorerna använts för statiskt ändamål, torde det erhållna värdet på förhållandet vara tillräckligt noggrant bestämt. En avvikelse mellan detta förhållande vid kondensatorernas olika användning faller fullständigt inom felgränserna.

I de fall, där spänningen är lägre än 3,500 volt, var

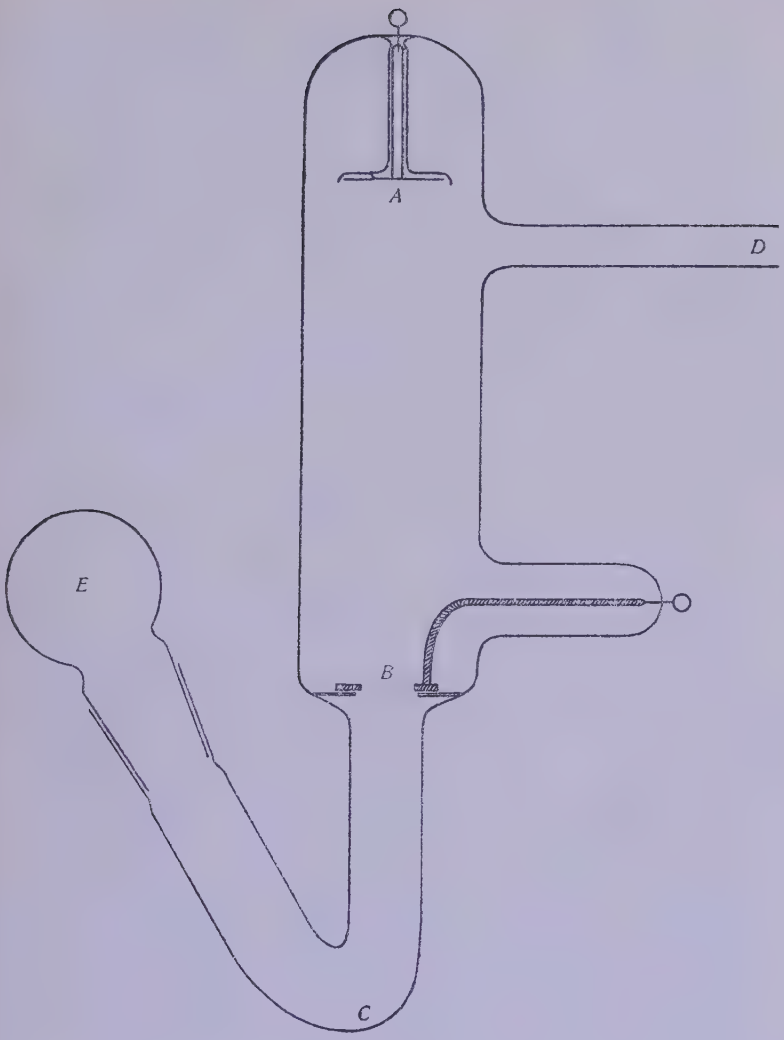

Fig. 2.

naturligtvis elektrometern direkt kopplad till urladdningsrörets elektroder.

Urladdningsröret, som var av glas, finnes avbildat i fig. 2. Dess övre grövre del har en längd av 14.5 cm. och en inre

diameter på 4 cm. Dess nedre smalare del är från anoden *B* till botten *C* 6.5 cm. långt och 1.5 cm. brett. Vid *C*, varest det luminiscerande saltet placeras, är röret omböjt. Det slutar ovanför omböjningen med en inslipad glaspropp *E*, som tätades med Ramsayfett eller kranfett, framställt av vitt vax och vaselin till lämplig konsistens. Genom inslipningen införas proven. Omböjningen är verkställd, på det att röret skall kunna användas för undersökning av katodoluminiscens vid lägre temperatur, då dess nedre omböjda del till inslipningen nedföres i ett Dewars kärl med flytande luft. Samtidigt hindrar detta rörets utseende katodstrålarna från att på något sätt träffa inslipningen och således frigöra gaser ur kranfettet. Det tillsmälta glasröret *D* för till en roterande *Hg*-Gaede-pump, vars förvakuum erhålles av en oljepump med hävstång.

I vanliga fall var förbindelsen mellan urladdningsröret och Gaede-pumpen direkt. Detta medför, att kvicksilverånga inkommer i röret och *Hg*-linjerna $\lambda = 579, 577, 546, 492, 436$ $\mu\mu$ ofta synas vid de spektroskopiska observationerna. Mestadels var väl olägenheten härav obetydlig, utom då det gällde att undersöka kvicksilversalternas diskontinuerliga spektra. I sistnämnda fall omöjliggjorde den närvarande kvicksilverångan alla mätningar, helst som vid ringa vakuum dess inflytande är större, och kvicksilversalterna vid relativt energisvaga katodstrålar uppvisa linjeluminiscens med vackert framträdande *Hg*-linjer. För avlägsnande ur röret av kvicksilverånga från pumpen vid *Hg*-salternas undersökande insmältes därför mellan urladdningsröret och Gaede-pumpen ett U-formigt glasrör, med bägge skänklarna grövre än förbindelseröret i övrigt. Den ena skänkeln, som var närmast pumpen, innehöll svavel, lagt i lager mellan glasull. Den andra skänkeln innehöll en fintrådig rulle blank kopparduk. På detta sätt undanröjdes kvicksilverångorna av svavlet, och möjligen uppträdande svavelånga tillbakahölls av kopparduken från att inkomma i röret. Genom denna anordning visade sig urladdnings-

röret så fritt från kvicksilverånga, att mätningar vid *Hg*-salterna med framgång kunde genomföras.

Bägge elektroderna voro av aluminium. Katoden hade formen av en sfärisk kalott med medelpunkten belägen på det luminiscerande ämnets plats vid *C* (fig. 2). Den var övertäckt av en glashuv för att skydda rörets väggar. Anoden *B* var i form av en cirkulär ring med 12 mm:s inre diameter. Ringen var genom en böjd aluminiumtråd i förbindelse med tillsmältningen i ett sidorör. Den vilar på en ringformig glimmerplatta, vars öppning var något större än aluminiumringens. Glimmerplattan i sin tur ligger an mot inbuktningen, där rörets bägge olika grova delar mötas.

Katodens konkavform åstadkommer, att katodstrålarne, vilka ju utgå vinkelrätt från katodens yta, skulle sammanlöpa mot katodens krökningscentrum vid *C*, om ej deras spridning i röret vid reflexion mot kvarvarande gasmolekyler till stor del upphävde denna koncentration. För att nu ändock genomföra densamma — ju kraftigare strålarnas koncentration är, desto kraftigare luminiscensverkan utöva de — användes den försöksanordning med ett longitudinellt magnetfält, verkande i strålarnas fortplantningsriktning, som *Trowbridge*[1] enl. ovanstående förut använt.

Magnetfältet alstras av solenoiden *S* (se fig. 1), vilken innehåller en uppdelad järnkärna av strumpsticksformade stålstavar. Solenoidens ström matades från ett ackumulatorsbatteri. I ledningen var inkopplad en ampèremeter *Am* och en avbrytare *k* (se fig. 1). Solenoiden var uppställd så, att dess axel noggrant sammanföll med urladdningsrörets axel. Rörets botten låg nära inpå järnkärnan, och solenoidens slutvarv var i nivå med järnkärnans övre ände.

Solenoidens varvantal var ursprungligen 1,380, dess längd 17.8 cm. och strömstyrkan i densamma 3.6 amp. Som sådan användes den vid undersökningen av *Na*- och *Li*-salterna. Genom en eller annan anledning blev isolationen

[1] J. Trowbridge, l. c. sid. 3.

hos solenoidens vindningstråd under undersökningen skadad, varför tråden måste utrangeras, och ny sådan påvindas. I sin nya gestalt hade naturligtvis solenoiden samma längd som förut, dess varvantal var emellertid endast 680. Flera varv fingo ej nu plats, enär den nya tråden var grövre än den gamla och försedd med tjockare isolering. Då som måttstock på magnetfältets styrka verkar antalet ampèrevarv, måste för samma magnetiska verkan med den nya solenoiden strömstyrkan sättas högre än förut. Den hölls nu också vid 7.3 amp. utom vid undersökning av *Hg*-salterna, då den sattes till 5.5 amp., vadan härvidlag magnetfältet var svagare än eljes. Anledningen härtill finner sin förklaring längre fram.

Anordningen att förmedels longitudinellt magnetfält axialt koncentrera katodstrålarna har före Trowbridge använts av *Lenard*[1] vid hans undersökningar över ljuselektriskt utlösta katodstrålars luminiscensverkan. Dessförinnan hade *H. Poincaré*[2] teoretiskt undersökt en magnetpols verkan på ett parallellt förlöpande katodstråleknippe under antagande av, att magnetpolen befinner sig i strålknippets fortplantningsriktning. Uppslaget härtill erhöll Poincaré ur en iakttagelse av *K. Birkeland*[3], som i detta ett longitudinellt magnetfälts inflytande på katodstrålar och därav följande nog så remarkabla urladdningsföreteelser trodde sig ha kommit ett helt nytt fenomen pa spåren. Poincaré fann, att strålarna under magnetfältets inflytande förlöpa som geodetiska linjer på kägelmantlar, vilkas spets är de verkande kraftlinjernas konvergenspunkt.

Birkelands idé angående uppkomsten av nya urladdningsfenomen har i senare tid upptagits av bl. a. *A. Righi*[4]. Utgående från teoretiska spekulationer har han på grund av

---

[1] P. Lenard, Drud. Ann. *12*, p. 449 (1903).

[2] H. Poincaré, Compt. rend. *123*, p. 530 (1896).

[3] Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève, t. I, 4e période (juin 1896).

[4] Strahlende Materie und magnetische Strahlen (Leipzig 1909).

sina experimentalundersökningar dragit den slutsatsen, att magnetfältet ger upphov till nya strålar, som även tillfälligtvis kunna förekomma utan magnetfält. Dessa strålar skulle varken bestå av molekyler, atomer eller joner utan av vissa neutrala system, som utgöra övergångstillstånd mellan de neutrala atomerna å ena sidan och de positiva jonerna eller negativa elektronerna, som vid jonisation fullständigt skiljas från varandra, å den andra sidan. Systemen skulle vara sammansatta som ett slags dubbelstjärnor, där elektroner kretsa omkring positiva joner. I gravitationens ställe har trätt den elektriska kraften mellan komponenterna. Det magnetiska fältet skulle underlätta dylika systems bildande och även öka deras stabilitet.

Utan att ingå på dessa spörsmål vill jag blott framhålla, att mina försöksbetingelser varit så helt olika Righis, att hans slutsatser näppeligen kunna tillämpas på mina anordningar.

För att mera ingående giva en uppfattning om magnetfältets verkningssätt vill jag i anslutning till Poincarés undersökning här lämna en redogörelse för den teoretiska analysen därav, helst som det resultet, vartill Poincaré kommer, delvis är felaktigt.

I sitt rätvinkliga koordinatsystem förlägger Poincaré z-axeln parallellt med katodstråleknippet och låter densamma gå genom magnetpolen, som är koordinatsystemets origo.

Låtom oss betrakta en katodstråle, som går i z-axelns neg. riktning, och som är belägen i xz-planet åt den pos. x-sidan. Den magnetiska kraften har då två komposanter, den ena Z är parallell med z-axeln och riktad i dess pos. led, den är enl. *Biot-Savarts* lag i början utan inflytande; den andra komposanten X är parallell med x-axeln och riktad i dess pos. led. Denna komposant framkallar hos strålen en deviation, som är parallell med y-axeln och går i dennas pos. riktning. Den sålunda devierade strålen har nu en hastighetskomposant η parallell med y-axeln. Den magnetiska kraftkomposanten Z utövar då inverkan på denna

hastighetskomposant η och framkallar så en deviation hos strålen i riktning av neg. x-axeln, varav som resultat följer, att strålen devieras mot origo. Katodstråleknippet blir konvergent.

Om man upprepar samma resonemang, blott med den skillnaden att man förutsätter en negativ magnetpol, kommer man även i detta fall till den slutsatsen, att katodstråleknippet under magnetfältets inflytande blir konvergent. Kraftkomposanten X och följaktligen hastighetskomposanten η få här motsatta tecken mot i förra fallet, men eftersom samtidigt kraftkomposanten Z byter tecken, kommer strålen fortfarande att devieras i riktning av neg. x-axeln. Hela strålknippet förblir sålunda konvergent.

Om man i stället för att antaga, att katodstråleknippet närmar sig till magneten, antar, att det avlägsnar sig från densamma, ger ett likartat resonemang vid handen, att knippet blir divergent.

Allt detta hade redan Birkeland observerat vid sin förut omnämnda undersökning.

I den nedanstående matematiska framställningen må följande beteckningar införas:

katodstråleelektronens massa = m
katodstråleelektronens laddning = e
katodstråleelektronens avstånd från origo = r $\therefore$ $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$
radius vektors r vinklar med de tre koordinataxlarna (x, y, z) resp. = α, β, γ.
magnetpolens magnetiska massa = M.
tiden = t.

Uppställas elektronens rörelseekvationer efter de tre koordinataxlarna med tillämpning av *d'Alemberts* princip och *Biot-Savarts* lag, erhålles:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{M}{r^2} \cdot \cos\gamma \cdot e \frac{dy}{dt} + \frac{M}{r^2} \cos\beta \cdot e \frac{dz}{dt}$$

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = +\frac{M}{r^2}\cos\gamma\cdot e\frac{dx}{dt} - \frac{M}{r^2}\cos\alpha\cdot e\frac{dz}{dt}$$

$$m\frac{d^2z}{dt^2} = +\frac{M}{r^2}\cos\alpha\cdot e\frac{dy}{dt} - \frac{M}{r^2}\cos\beta\cdot e\frac{dx}{dt}$$

Eftersom $\cos\alpha = \frac{x}{r}$; $\cos\beta = \frac{y}{r}$; $\cos\gamma = \frac{z}{r}$, erhålla ekvationerna följande utseende, om $\frac{Me}{m}$ sättes $= \lambda$:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\lambda}{r^3}\left(y\frac{dz}{dt} - z\frac{dy}{dt}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{\lambda}{r^3}\left(z\frac{dx}{dt} - x\frac{dz}{dt}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = \frac{\lambda}{r^3}\left(x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Genom att multiplicera de tre ekv. (1, 2, 3) med $2\frac{dx}{dt}$, $2\frac{dy}{dt}$, $2\frac{dz}{dt}$ resp. samt genom summation av ekv.:s membra, erhålles efter integration

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 = \text{Const.} = C = V^2,$$

då V är elektronens hastighet, vilken alltså förhåller sig konstant.

Med tillhjälp av (1), (2), (3) erhålles

$$y\frac{dz}{dt} - z\frac{dy}{dt} = \int\left(y\frac{d^2z}{dt^2} - z\frac{d^2y}{dt^2}\right)dt =$$

$$= \lambda\int\frac{1}{r^3}\left(xy\frac{dy}{dt} - y^2\frac{dx}{dt} - z^2\frac{dx}{dt} + xz\frac{dz}{dt}\right)dt =$$

$$= \lambda\int\frac{1}{r^3}\left\{x\left(x\frac{dx}{dt} + y\frac{dy}{dt} + z\frac{dz}{dt}\right) - r^2\frac{dx}{dt}\right\}dt.$$

Men enär $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$, befinnes

$$r\frac{dr}{dt} = x\frac{dx}{dt} + y\frac{dy}{dt} + z\frac{dz}{dt}, \text{ varav följer att}$$

$$y\frac{dz}{dt} - z\frac{dy}{dt} = \lambda\int\frac{1}{r^3}\left(xr\frac{dr}{dt} - r^2\frac{dx}{dt}\right)dt = \lambda\int\left(\frac{x}{r^2}\frac{dr}{dt} - \frac{1}{r}\frac{dx}{dt}\right)dt =$$

$$= -\frac{\lambda x}{r} + a\,.$$

Hela ekvationssystemet (1, 2, 3) antager sålunda formen:

$$y\frac{dz}{dt} - z\frac{dy}{dt} = -\frac{\lambda x}{r} + a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

$$z\frac{dx}{dt} - x\frac{dz}{dt} = -\frac{\lambda y}{r} + b \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

$$x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt} = -\frac{\lambda z}{r} + c \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Multipliceras ekv. (4, 5, 6) i ordning med x, y, z, och adderas de, erhålles:

$ax + by + cz = \lambda r$, vilket är ekv. för den yta, som elektronen kommer att röra sig på under magnetfältets inflytande.

Långt ifrån magneten i närheten av katoden har strålen en rätlinjig asymptot parallell med z-axeln. Må asymptotens ekv. vara:

$$\begin{cases} x = x_0 \\ y = y_0\,. \end{cases}$$

Konstanterna i ekvationssystemet (4) (5) (6) erhålla då följande värden: $a = y_0 V$; $b = -x_0 V$ och $c = \lambda$, där V som förut betyder strålens konstanta hastighet.

Sättes i ytans ekv. $r = C$, så fås: $ax + by + cz = \lambda C$. Skäres alltså ytan med ett plan vinkelrätt mot linjen $\frac{x}{a} = \frac{y}{b} = \frac{z}{c}$, så är skärningslinjen en cirkel; ytan är följaktligen en revolutionsyta med linjen $\frac{x}{a} = \frac{y}{b} = \frac{z}{c}$ som axel. Då ekv. är homogen i x, y, z innehåller ytan tydligen linjen $\frac{x}{z} = m$, $\frac{y}{z} = n$, om $am + bn + c = \lambda \sqrt{m^2 + n^2 + 1}$. Den är alltså en cirkulär kon med axeln $\frac{x}{a} = \frac{y}{b} = \frac{z}{c}$. Dess toppvinkel 2ω fås ur ekv.

$$\cos \omega = \frac{l}{C}$$

om l är vinkelräta avståndet från origo till planet $ax + by + cz = \lambda C$. Nu är

$$l = \frac{\lambda C}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$$

Alltså $$\cos \omega = \frac{\lambda}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}},$$

$$\text{varav } \operatorname{tg} \omega = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{\lambda} = \frac{V\sqrt{{x_0}^2 + {y_0}^2}}{\lambda}\ ^{1}.$$

Ur den ursprungliga ekv. följer, att z-axeln är en av konens generatriser.

Då nu hastigheten, enl. vad som förut visats, är konstant, måste accelerationen verka vinkelrätt mot hastigheten och mot konens generatris, varav följer, att strålen löper efter en geodetisk linje på revolutionskonen.

---

[1] Poincaré har funnit, att sinus för konens halva toppvinkel har detta värde.

Det är klart, att katodstråleelektronerna under sin skruvlika gång runt konen komma att träffa z-axeln i flera punkter, eftersom denna axel utgjorde en av konens generatriser. Av ovan gjorda beräkning över storleken hos konens toppvinkel synes, att denna beror av katodstrålarnas ursprungliga avstånd $(\sqrt{x_0^2 + y_0^2})$ från z-axeln. Tillämpas dessa fakta i det fall, att man har att göra med en cirkulärt formad katod, och att magneten är så placerad, att z-axeln går genom katodens centrum, så följer för alla strålar, som utgå på samma avstånd från z-axeln t. ex. från katodens kant, att de förhålla sig fullkomligt symmetriskt omkring z-axeln och träffa den i en punkt. Centrala strålar passera även genom denna föreningspunkt, och då övriga strålar, utgående på andra avstånd från z-axeln, ej kunna skilja sig mycket från dessa absolut förenade strålar, blir resultatet, att en stark koncentration av katodstrålarna åvägabringas.

Vid mina försök hade jag, såsom förut omtalats, urladdningsröret anbragt strax ovanför magnetens övre ände. I rörets botten var det undersökta saltet placerat. Då ju, som ovan synes, konens toppvinkel är starkt beroende av katodstrålarnas hastighet, måste, allteftersom urladdningspotentialen d. v. s. katodstrålarnas hastighet varieras, avståndet mellan magneten och urladdningsröret förändras så, att strålarna hela tiden konvergera mot provets yta. Dessa variationer i avståndet voro dock synnerligen små och åstadkoms i huvudsak genom att förändra tjockleken på underlägget under magneten. Riktigheten av dessa dispositioner ådagalades genom direkta prövningsförsök, för vilka skall redogöras vid försöksresultatens meddelande.

Vid den här framställda teoretiska undersökningen har hela tiden antagits en plan katod och därav följande åtminstone teoretiskt taget parallellt förlöpande katodstråleknippe, under det att jag vid mina undersökningar laborerat med en konkavt formad katod, som skulle giva upphov till konvergenta katodstrålar, för så vitt ej de kvarvarande gasmolekylerna åstadkomme en spridning av elektronerna.

Det oaktat torde de slutsatser, som för praktiskt ändamål dragits av den teoretiska behandlingen, ej mycket avvika från verkligheten. Syftet med magnetfältets anbringande var ju att med dess tillhjälp få till stånd en koncentration av katodstrålarna, och denna kan ju endast underlättas genom katodens konkavform. För övrigt torde ej heller med användning av plan katod kunna åvägabringas full överensstämmelse mellan teori och praktik, eftersom katodstrålarna på grund av reflexion starkt avvika från sin ursprungliga bana och sålunda i detta fall upphöra att vara parallella.

För den spektroskopiska undersökningen av luminiscensen användes ett Zeiss' mikrospektroskop enl. Abbes konstruktion, kombinerat med ett akromatiskt objektiv (a_0) av Zeiss' tillverkning. Den så inrättade ljusstarka spektralapparaten finnes till de delar, som kom till användning, i längdsnitt framställd i fig. 3. Mikrospektroskopets olika delar kännetecknas av bokstäverna *A*, *B*, *C*, *D*, *E*. Objektivet är framställt vid *F*, framför linssystemet är en cirkelrund bländare belägen. Okularets akromatiska ögonlins *C* kan skarpt inställas på den i bländareplanet befintliga spalten *D*. Ovanför okularet befinner sig ett rätsiktigt Amicis prismasystem *B*. Vid *A* synes en våglängdsskala, som från sidan enl. fig. låter sig projicera på det för ögat framträdande spektret.

Belysningen av våglängdsskalan verk-

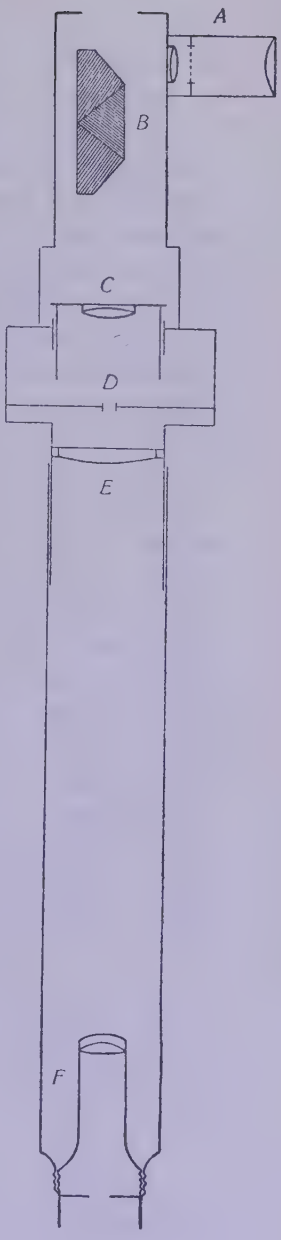

Fig. 3.

ställdes med en liten 2-volts-glödlampa, som matades med ett torrelement. Lampan var sotad, på det att skalans ljus ej måtte verka störande vid observationerna av de ljussvaga spektra. Själva lampan var ljustätt innesluten i en svart papptub, som nära anslöt sig till sidoröret *A*. Allt störande ljus från lampan var sålunda uteslutet. Samma ändamål åsyftades med en ogenomskinlig svart pappskärm, som hindrade observatörens öga från att direkt träffas av ljus från urladdningsröret.

Läget på spektralapparatens skala kunde för övrigt med lätthet och noggrannhet korrigeras, vilket ej åskådliggöres i fig. Ej heller är där antytt, att spalten är variabel.

Spektralapparaten var monterad i ett stativ, som möjliggjorde, att apparaten kunde höjas och sänkas samt vridas i alla riktningar. Vid observation riktades den snett nedåt med objektivet nära intill urladdningsröret vid det lysande saltet.

Vid de katodoluminiscensundersökningar, som utfördes vid flytande lufts temperatur, kunde ej den nu beskrivna spektralapparaten användas, då den ju måste uppställas med objektivet helt nära det undersökta provet. I detta fall utfördes de spektroskopiska observationerna med ett litet Zeiss' fickspektroskop, försett med våglängdsskala. Skalans belysning verkställdes på liknande sätt, som förut är beskrivet. Spektroskopet riktades genom den inslipade glaskulan ned mot det luminiscerande provet och befann sig sålunda i samma plan som rörets omböjning.

III. Observationsmetod.

Själva observationerna tillgingo enligt följande skema. Sedan provet, vilket först befriats från fuktighet och kristallvatten genom upphettning i kvarts- eller porslinsdegel, införts i det väl rengjorda urladdningsröret, och ett visst vakuum ernåtts, sattes influensmaskinen i gång, varvid den hastighet, som önskades, reglerades genom motståndet, som var inkopplat vid motorns borstläge. Härefter släcktes allt ljus i observationsrummet, vilket hölls i fullständigt mörker. Efter det att ögat under en stunds vila vant sig vid mörkret, påsläpptes ström i urladdningsröret, varvid, samtidigt som strömmen slöts i solenoidledningen, observationerna med spektralapparaten begynte.

I fortsättningen var tillvägagångssättet olika, allteftersom den spektrallinje, som undersökningen för tillfället gällde, nu var synlig i spektroskopet eller ej. I första fallet insläpptes med tillhjälp av Gaede-pumpen sakta luft i urladdningsröret, till dess spänningen sjunkit så, att spektrallinjen försvann för ögat. I samma ögonblick gjordes ljust i rummet, varefter omedelbart så hastigt som möjligt först elektrometern, sedan galvanometern avlästes. I andra fallet, d. v. s. om den undersökta spektrallinjen ej stod att upptäcka, förbättrades långsamt rörets vakuum, till dess att spektrallinjen gav sig till känna, då på samma sätt som i förra fallet elektrometer och galvanometer avlästes. De värden på spänningen, som med en viss konstant strömstyrka erhöllos i det ena eller andra fallet, skilde sig ej mer, än att differensen föll inom felgränserna. I allmänhet har jag begagnat mig av bägge förfaringssätten omväxlande.

Efter varje utslag på galvanometern avlästes dennas nolläge. Alltemellanåt kontrollerades också strömstyrkan i solenoidledningen.

Före undersökningen av en ny spektrallinje gjordes hela serier av försök med linjen ifråga för att göra ögat känsligt

för densamma. Härmed fortsattes ända till dess att ögats känslighet uppnått en övre gräns, utöver vilken fortsatt övning förblev utan resultat. Om jag sålunda vid dessa förförsök höll mig vid en viss konstant strömstyrka, framträdde den undersökta spektrallinjen vid allt lägre och lägre spänning, ju mera övat ögat blev, vilken dock asymptotiskt närmade sig ett bestämt värde.

IV. Observationsresultat.

a) Vid rumstemperatur.

Innan jag övergår till behandling av resultaten av mina egentliga forskningar, vill jag nämna några ord om ett par kontrollförsök, som utförts för att pröva själva den metod, jag följt.

Jag anmärkte i samband med redogörelsen för förfaringssättet vid spänningsmätningarna, att genom den vid spänningar, högre än 3,500 volt, tillämpade anordningen (se sid. 6) ej någon ny felkälla införts, vilket också prövats genom direkta försök. Enligt denna metod skulle en skaldels utslag på elektrometern motsvara 368 volt mot i vanliga fall 100 volt. I tab. I äro sammanförda resultaten av ett par dylika försök, som gjorts för att kontrollera dessa spänningsmätningar med elektrometern kopplad till en Leydnerflaskas beläggningar. Mätningarna hänförde sig till natriums *D*-linje. Utslagen på elektrometern vid denna koppling äro angivna genom V_1, utslagen på galvanometern genom α; produkten av α och V_1, som är ett mått på energien, då *D*-linjen framträder, är betecknad med E_2. Då strömstyrkan är ungefär densamma som i det nu behandlade fallet, men elektrometern är kopplad direkt till rörets poler, är utslaget på elektrometern betecknat med V och

måttet på energien med E_1. Förhållandet E_1/E_2 skulle naturligtvis, enligt vad som förut sagts, vara exakt 3.68. De avvikelser från detta värde, som erhöllos, äro dock ej större, än att de falla inom felgränserna. Man får betänka, att dylika mätningar äro ytterst vanskliga, då ju så mycket beror på ögats disposition för ögonblicket.

Tab. I.

Salt	V	α	E_1	V_1	α	E_2	E_1/E_2
Na_2SO_4	35.0	33.7	1,180	9	33.0	297	3.97
Na_2HPO_4	34.6	51.9	1,796	9	52.0	468	3.84

Den teoretiska undersökningen av det longitudinella magnetfältets inflytande gav vid handen, att vid olika hastighet hos katodstrålarna dessa av magnetfältet koncentreras olika mycket. Genom att förändra fältets läge i förhållande till det luminiscerande saltet åstadkoms, att katodstrålarna tvungos att sammanlöpa mot provets yta vid variation av urladdningspotentialen. Ett sätt att pröva riktigheten av denna anordning är att vid en bestämd urladdningspotential mäta strömstyrkan, då en viss linje framträder dels utan, dels med magnetfält. Förhållandet mellan de sålunda uppmätta strömstyrkorna är ett mått på katodstrålarnas koncentration, åvägabragt genom magnetfältet. Detta förhållande bör vid en viss solenoidström vara konstant, oberoende av urladdningspotentialen. Jag har utfört dylika försök vid olika förekommande magnetfält och sammanfört resultaten i tab. II.

Tab. II.

Spektrallinje μμ	Salt	Utan magn. fält		Med magn. fält			a_1/a_2	a_1/a_2 med.
		V[1]	a_1	Solenoidström amp.	V	a_2		
	Na J	3,300	69.5	7.3	3,300	21.3	3.3	
$\lambda = 589$	Na Br	3,900	63.4	7.3	3,900	19.2	3.3	3.3
	Na Cl	4,400	67.1	7.3	4,420	19.9	3.4	
	Hg Cl	1,390	57.2	5.5	1,380	18.9	3.0	
$\lambda = 546$	Hg O	1,260	52.4	5.5	1,190	19.4	2.7	2.9
	$Hg_2 SO_4$	2,000	81.3	5.5	2,000	27.0	3.0	
	„	2,530	60.3	5.5	2,540	20.6	2.9	

Såsom synes av tabellen är överensstämmelsen mellan de värden på koncentrationen, som med samma solenoidström, alltså samma magnetfält vid olika urladdningspotential erhållits, ganska god. Katodstrålarna förtätas genom magnetfältet till ungefär trefaldigt belopp.

Mina undersökningar över katodoluminiscensen ha omfattat följande oorganiska salter:

Na J, Na Br, Na Cl, Na F, $Na_2 CO_3$, $Na NO_3$, $Na_2 SO_4$, Na OH, $Na_2 H PO_4$, $Na_2 B_4 O_7$; Rb Cl; Cs Cl;
K J, K Br, K Cl, $K_2 SO_4$, $K Cl O_3$;
Li Br, Li Cl, $Li_2 CO_3$, $Li NO_3$, Li OH, $Li_2 SO_4$, $C_6 H_4 \langle^{O\,Li}_{CO\,OH}$;

[1] V är här och även i fortsättningen uttryckt i volt, ej i elektrometerns skaldelar.

CaO, CaS, $CaSO_4$, $CaCl_2$, CaF_2, $CaBr_2$;
$MgBr_2$, $MgCl_2$, MgO, $MgSO_4$;
$BaCl_2$, BaS, $Ba(OH)_2$, $BaSO_4$; $SrCl_2$, $SrSO_4$, $SrCO_3$;
ZnO, $ZnCl_2$, $ZnSO_4$; Tl_2SO_4, $TlNO_3$;
CdJ_2, $CdCl_2$, $CdSO_4$; CuJ, $CuSO_4$; $AgNO_3$; PbJ_2;
$Fe_2(SO_4)_3$; Cr_2S_3, Cr_2O_3;
$HgCl$, $HgCl_2$, $HgBr$, HgO, Hg_2SO_4, $HgSO_4$; $Al_2(SO_4)_3$.

De preparat, som tillhöra alkalimetallernas och alkaliska jordmetallernas grupper, hade nästan alla Kahlbaums ursprungsbeteckning och voro av renaste kvalité. De övriga salterna voro från skilda håll: Kahlbaum, Merck, kemiska fabriken Ion Stockholm o. s. v.

Av dessa salter har jag varit i stånd att konstatera linjeluminiscens hos följande, där resp. metallers linjer varit synliga, nämligen *Na*-, *K*-, *Li*-, *Rb*-, *Cs*-, *Hg*-, *Cd*-, *Cu*- och *Cr*-salterna. Hos övriga undersökta prov har ingen diskontinuerlig katodoluminiscens stått att upptäcka med de hjälpmedel, jag haft till förfogande.

För att giva prov på den noggrannhet, som ernåtts vid avläsningarna, lämnar jag i tab. III och IV fullständiga utdrag ur laborationsprotokollet, som gälla för det först undersökta saltet nämligen *Na Br*. Ur medelvärdena $E_{\text{med.}}$ på produkterna E har beräknats de påfallande katodstrålarnas energimängder Q per tidsenhet, uttryckta i watt[1], då de för tillfället undersökta spektrallinjerna framträda. I övrigt äro beteckningarne likabetydande med föreg. Tab. III hänför sig till D-linjen, tab. IV till linjen $\lambda = 568\ \mu\mu$.

Jag går nu att i tur och ordning relatera de resultat, som vunnits vid de olika preparaten.

---

[1] Nämnda beräkning är endast relativ, eftersom här liksom allt framgent i detta kap. (med ett und. nämligen *Hg O*) katodstrålarna koncentrerats genom magnetfält, men därtill ingen hänsyn tagits vid beräkningarna, utan då använts de värden på strömstyrkan, som angivits genom galvanometerutslagen.

Tab. III.

Salt = Na Br. $\lambda = 589$ $\mu\mu$.

α	α med.	V	V med.	E_1	E_1 med.	Q
69.6		1,200		835		
72.9		1,200		875		
68.1	70.2	1,200	1,200	817	843	0.649
69.5		1,200		834		
71.0		1,200		852		
56.1		1,500		842		
54.4		1,500		816		
53.8	54.5	1,500	1,500	807	818	0.630
54.0		1,500		810		
54.4		1,500		816		
35.1		2,300		807		
34.9		2,300		803		
36.4	35.5	2,200	2,270	801	806	0.621
36.1		2,250		812		
35.0		2,300		805		
27.1		2,800		759		
25.5		3,000		765		
24.8	26.8	3,200	2,920	794	782	0.602
28.3		2,800		792		
28.5		2,800		798		

Na-salter:

Följande *Na*-linjer ha konstaterats: $\lambda = 589$, 568, 616 $\mu\mu$. Natriums övriga linjer ha ej trots stora ansträngningar kunnat observeras.

Tab. IV[1].

Salt: Na Br. $\lambda = 568\ \mu\mu$.

α	α med.	V_1	V med.	E_2	E_2 med.	Q
69.0		1,600		1,104		
67.9		1,600		1,086		
66.1	66.9	1,600	6,000	1,058	1,090	3.089
65.9		1,650		1,087		
65.7		1,700		1,117		
47.8		2,200		1,052		
45.6		2,300		1,049		
46.4	46.8	2,200	8,170	1,021	1,038	2.941
47.3		2,200		1,041		
46.7		2,200		1,027		
37.9		2,700		1,023		
36.7		2,800		1,028		
37.6	36.8	2,800	10,230	1,053	1,022	2.896
35.8		2,800		1,002		
35.8		2,800		1,002		

D-linjen har varit tydligt synlig vid alla undersökta *Na*-salter.

De observationer, som gjorts över denna linje, finnas framställda i tab. V.

Linjen $\lambda = 568\ \mu\mu$ har även vackert givit sig till känna i spektroskopet vid alla salter utom vid $Na_2 B_4 O_7$, där den trots variation och oerhörd stegring av urladdningspotentialen ej stått att upptäcka. Vid $Na_2 H PO_4$ framträdde den med svårighet. Mätningar föreligga för *Na J*, *Na Br*, *Na Cl*, $Na_2 CO_3$. Att ej mätningar utförts för denna linje hos fler salter, beror på svårigheten att få konstanta förhållanden

[1] I det följande komma i tabellerna endast medierna att uppgivas, deras beteckningar bliva resp. α, V, E_1, E_2. Mot varje medievärde svara fem avläsningar.

vid de höga spänningar, som här trots användande av största disponibla strömstyrka erfordrats. Resultaten återfinnas i tab. VI.

Linjen $\lambda = 616$ $\mu\mu$ har endast uppträtt hos haloidsalterna och Na_2CO_3 och blott vid så höga spänningar, att de ej kunnat uppmätas med elektrometern. Oaktat mina ihärdiga bemödanden ha ej de övriga salterna visat denna linje.

För $NaNO_3$ och NaF ha ej mätningar kunnat verkställas. Hos det förra saltet inträdde någon slags sönderdelning med ty åtföljande gasutveckling, som omöjliggjorde upprätthållandet av tillräckligt starkt vakuum. Hos det senare saltet lagrade sig ett bandspektrum, härrörande från en ljusröd luminiscens över det diskontinuerliga spektret, vilket hade till följd, att avläsningarna ej kunde utföras med tillräcklig säkerhet. Av samma anledning äro värdena vid $NaOH$ genomgående för höga och rätt osäkra.

I fig. 4 och 5 äro resultaten, erhållna vid natriumsalterna, framställda för åskådlighetens skull i grafisk form. Den förra figurens kurvor gälla för D-linjen, den senare figurens för linjen $\lambda = 568$ $\mu\mu$. Som abskissor och ordinator äro resp. uppförda spänning (i volt) och energi (i watt) vid linjernas framträdande. Vad som vid första påseende frapperar, är den starka variationen av energien med de olika salterna. Tydligen gäller som allmän lag, att ju större saltets bildningsvärme är, desto större är den ifrågasatta energien hos katodstrålarna. Jag återkommer härtill i fortsättningen. Ävenså giva kurvorna uppenbart till känna energiens förminskande med urladdningspotentialen.

K-salter:

Endast linjen $\lambda = 580$ $\mu\mu$ har konstaterats.

Linjeluminiscensen vid dessa salter har endast framträtt vid synnerligen höga spänningar. Medför redan detta förhållande svårighet att utföra någorlunda exakta mätningar, ha emellertid sådana fullständigt omöjliggjorts genom K-salternas starka förstoftning vid bestrålning med katodstrå-

Tab. V.

$\lambda = 589\ \mu\mu$.

Salt	α	V	E_1	Q
Na J	73.8	1,100	812	0.625
	52.9	1,500	794	0.611
	33.8	2,260	764	0.588
	24.5	3,000	735	0.566
Na Br	70.2	1,200	843	0.649
	54.5	1,500	818	0.630
	35.5	2,270	806	0.621
	26.8	2,920	782	0.602
Na Cl	74.6	1,300	969	0.746
	58.7	1,600	940	0.724
	38.4	2,400	921	0.709
	32.7	2,800	916	0.705
$Na_2 CO_3$	73.9	1,680	1,241	0.956
	56.4	2,140	1,210	0.932
	38.9	3,000	1,168	0.899
$Na_2 SO_4$	69.5	1,920	1,334	1.027
	55.6	2,390	1,329	1.023
	45.3	2,800	1,269	0.977
	33.7	3,500	1,181	0.909
Na OH	65.9	2,050	1,350	1.04
	50.4	2,620	1,321	1.02
	39.8	3,200	1,272	0.979
$Na_2 HPO_4$	66.9	2,780	1,857	1.43
	51.9	3,460	1,796	1.38
	56.4	3,200	1,805	1.39
$Na_2 B_4 O_7$	69.6	3,680	2,561	1.97
	48.6	4,600	2,237	1.72
	33.1	6,000	1,984	1.53

Tab. VI.

$\lambda = 568$ $\mu\mu$.

Salt	a	V	E_2	Q
Na J	69.6	5,450	1,029	2.92
	52.2	7,000	991	2.81
	29.9	11,400	928	2.63
Na Br	66.9	6,000	1,090	3.09
	46.8	8,170	1,038	2.94
	36.8	10,230	1,022	2.90
Na Cl	74.7	6,180	1,250	3.54
	55.8	8,020	1,215	3.44
	34.5	12,000	1,124	3.19
$Na_2 CO_3$	71.5	7,730	1,501	4.25
	51.8	10,300	1,450	4.11
	40.7	12,510	1,382	3.92

lar av hög hastighet. De förstoftade partiklarna avsatte sig inom få ögonblick på urladdningsrörets väggar och förhindrade alla observationer genom att göra glaset ogenomskinligt.

Strömstyrkan har hela tiden hållits vid största möjliga belopp, varvid galvanometern gav cirka 70 skaldelars utslag. Jag lämnar här nedan fullständigt utdrag ur laborationsprotokollet angående de iakttagelser, som då gjorts.

K J: Linjeluminiscens vid omkring 9,000 volt.

K Cl: „ „ „ 11,000 „

K Br: „ „ „ 11,000 „

$K_2 SO_4$: Linjen $\lambda = 580$ tillfälligtvis synlig vid spänningar, så höga, att de ej gått att mäta. *D*-linjen har likaledes starkt framträtt vid detta salt och försvårat observationerna.

$K Cl O_3$: Då saltet bestrålades, försämrades vakuum ögonblickligen. Osäkert, om linjen $\lambda = 580$ framträdde.

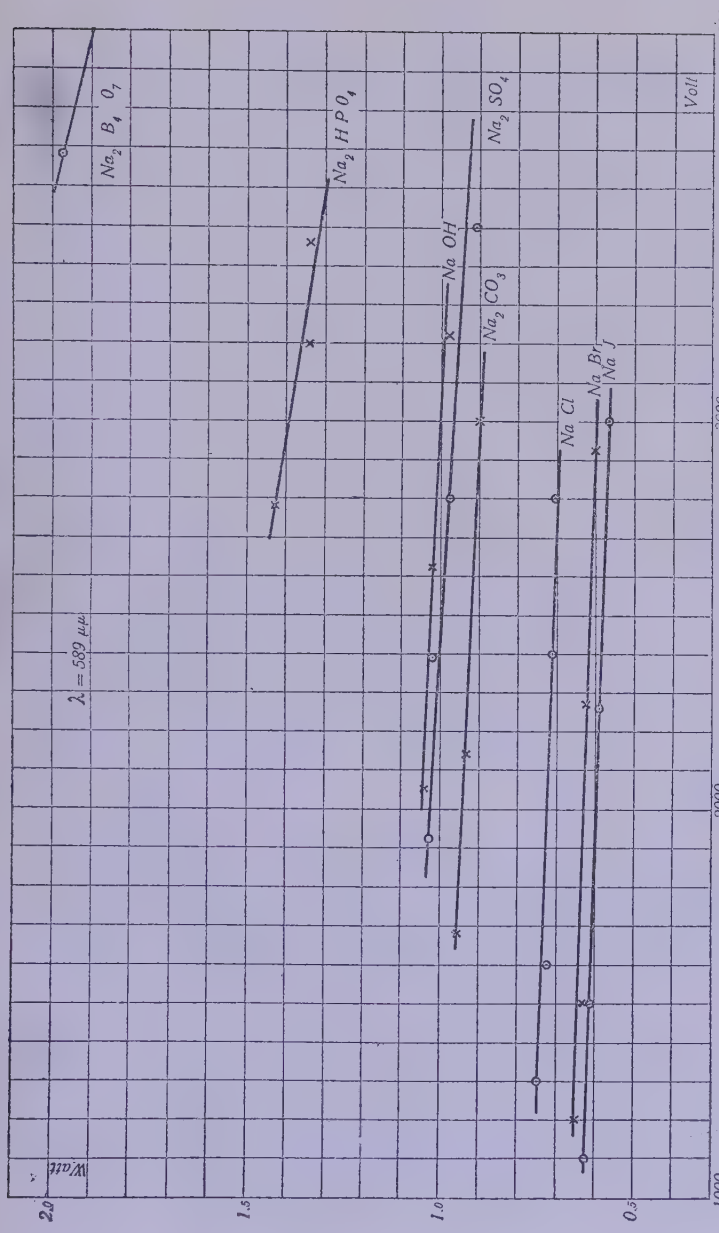
Watt
2,0
1,5
1,0
0,3
1000
2000
3000
4000
Volt
$\lambda = 589\ \mu\mu$
$Na_2\ B_4\ O_7$
$Na_2\ H\ P\ O_4$
$Na\ OH$
$Na_2\ SO_4$
$Na_2\ CO_3$
$Na\ Cl$
$Na\ Br$
$Na\ J$

Fig. 4,

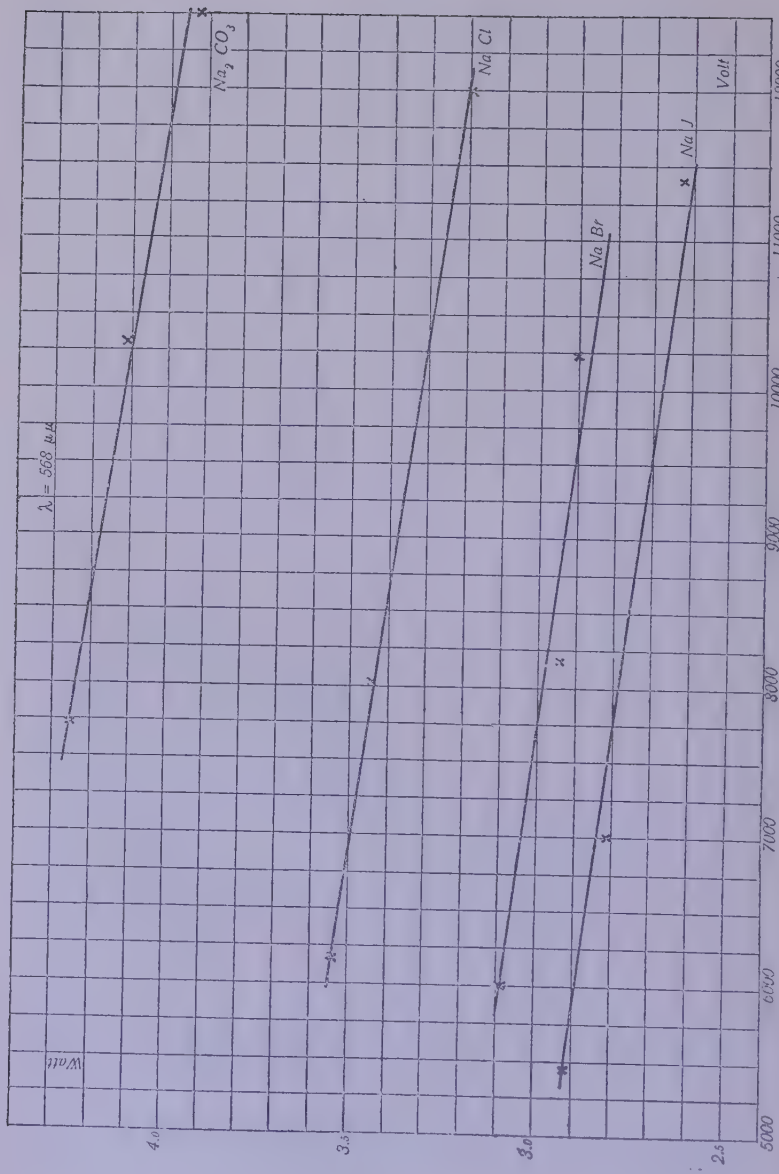
Watt
4.0
3.5
3.0
2.5
5000
6000
7000
8000
9000
10000
11000
12000
Volt
$\lambda = 568\ \mu\mu$
Na_2CO_3
Na Cl
Na Br
Na J

Fig. 5.

Li-salter:

Iakttagelser ha gjorts över följande *Li*-linjer, som framträtt vid samtliga undersökta *Li*-salter: $\lambda = 671$, 610, 497, 460 $\mu\mu$.

För linjen $\lambda = 497$ $\mu\mu$ ha inga mätningar verkställts, beroende dels på de höga spänningar, som fordrats för den linjens framträdande, dels och framför allt på, att ett bandspektrum i grönt lagrat sig över nämnda linje vid alla undersökta preparat och gjort observationerna osäkra.

Tab. VII, som innehåller resultaten vid *Li*-salterna, hänför sig till linjen $\lambda = 671$. Linjerna $\lambda = 610$ och $\lambda = 460$ $\mu\mu$ ha framträtt ungefär samtidigt som nyssnämnda linje, dock kanske vid något högre spänning.

I flera fall har förstoftning av salterna försvårat arbetet och åstadkommit, att röret måst rengöras efter ett fåtal avläsningar. Detta är orsaken till, att så få avläsningar utförts vid litiumsalicylat, och att resultaten, som erhållits vid högre urladdningspotential, äro rätt osäkra.

Avläsningarna vid *Li OH* ha starkt hindrats genom närvaron av ett kontinuerligt spektrum.

I fig. 6 finnas resultaten grafiskt återgivna. Samma anmärkningar gälla här som förut för *Na*-salterna.

Rb Cl och Cs Cl:

Vid ingetdera av dessa salter ha mätningar kunnat utföras, enär de kraftigt förstoftas under katodstrålarnas bombardemang. Det förra saltet visar svagt vid höga spänningar linjen $\lambda = 420$ $\mu\mu$, det senare saltet linjen $\lambda = 566$ $\mu\mu$.

Hg-salter:

Dessa salter, som giva ett synnerligen vackert spektrum, ha uppvisat följande linjer: $\lambda = 615$, 579, 577, 546, 492, 436, 405 $\mu\mu$. Mätningar ha endast företagits vid linjen $\lambda = 546$ $\mu\mu$.

För $Hg\,Cl_2$ föreligga inga mätningar, enär ett ljusstarkt kontinuerligt spektrum skymt spektrallinjerna, så att avläs-

Tab. VII.

$\lambda = 671\ \mu\mu$.

Salt	a	V	E_2	Q
Li Br	73.9	2,470	495	1.40
	54.5	3,310	491	1.39
	47.7	3,680	477	1.35
	31.2	4,050	344	0.97
	19.5	4,780	254	0.72
Li Cl	76.2	2,430	503	1.43
	48.7	3,680	487	1.38
	27.1	4,420	325	0.92
	20.5	5,150	287	0.81
$Li_2 CO_3$	72.9	2,870	569	1.61
	58.8	3,500	558	1.58
	38.8	4,120	435	1.23
	24.0	4,530	295	0.83
$Li NO_3$	73.5	3,050	610	1.73
	56.3	3,970	607	1.72
	37.6	4,420	451	1.28
	25.9	4,780	336	0.95
$Li_2 SO_4$	71.5	3,860	753	2.13
	58.6	4,530	720	2.04
	36.8	5,480	549	1.56
	21.6	6,110	358	1.01
Li OH	78.4	3,200	683	1.94
	55.6	4,050	611	1.73
$C_6 H_4 \langle^{O\,Li}_{COOH}$	72.3	3,280	644	1.82
	49.0	3,970	529	1.50

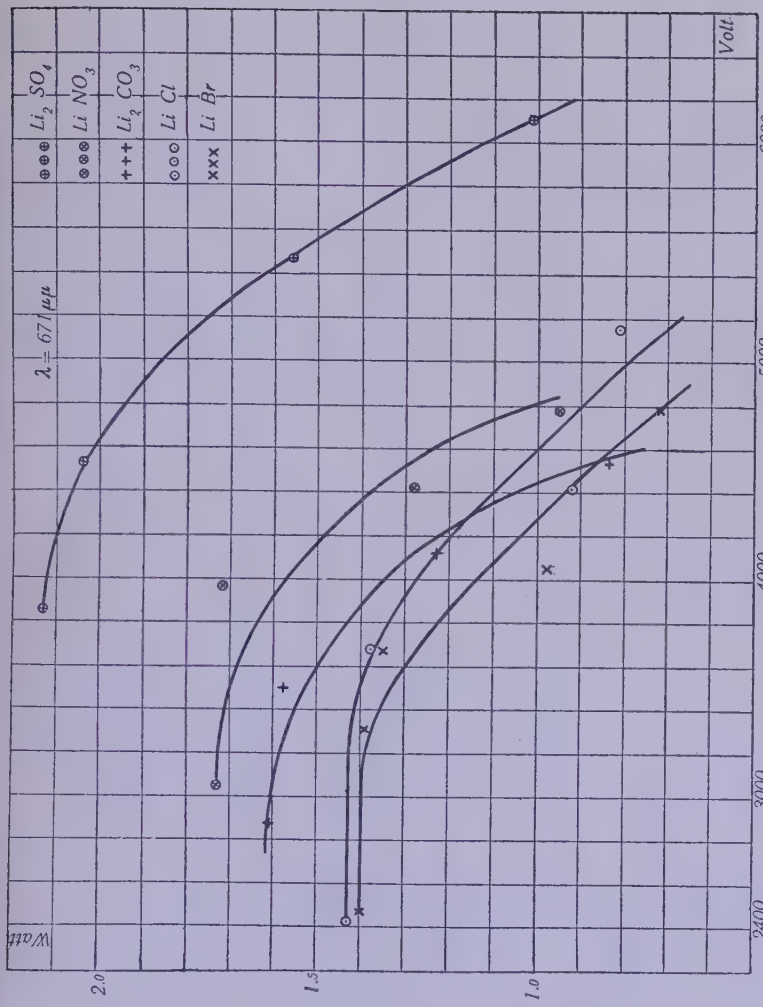

Fig. 6.

ningarna blivit högst tvivelaktiga. De mätningar, som gjorts vid *Hg Br*, äro likaledes av samma skäl rätt osäkra.

Förstoftningen hos *Hg*-salterna under katodstrålarnas verkan var större än vid några andra undersökta preparat och ökade oerhört starkt med ökning av strömstyrkan och spänningen. Av denna anledning har magnetfältet för kon-

Tab. VIII.

$\lambda = 546\ \mu\mu$.

Salt	α	V	E_1	Q	
Hg O	19.4	1,180	228	0.176	Utan Magn.-fält
	52.4	1,260	660	0.508	
	27.7	2,050	568	0.437	
	19.0	2,960	562	0.433	
Hg Br	26.8	1,000	268	0.206	
Hg Cl	27.9	1,080	301	0.232	
	18.9	1,380	261	0.201	
	15.2	1,620	247	0.190	
$Hg_2 SO_4$	73.5	1,110	815	0.628	
	59.5	1,380	821	0.632	
	39,6	1,510	598	0.461	
	27.0	2,000	541	0.417	
	20.6	2,540	522	0.402	
$Hg SO_4$	76.0	1,550	1,178	0.907	
	50.6	1,900	961	0.740	
	33.8	2,340	791	0.609	
	22.8	3,000	684	0.527	

centration av katodstrålarna vid dessa salter satts svagare än i vanliga fall, enl. vad som upplysts sid. 12.

I tab. VIII och fig. 7 äro de gjorda mätningarna framställda. I tabellen äro avläsningarna utöver 1,200 volt för *Hg O*, vilka utförts utan magnetfält, som sådana införda, vilket kan förefalla oegentligt. Då nu dessa avläsningar använts vid den grafiska framställningen av *Hg O*-kurvan i fig. 7, ha de erhållna galvanometerutslagen dividerats med värdet på katodstrålarnas koncentration genom magnetfält vid *Hg*-salter, som ju enl. föregående är = 2.9. Härigenom ha dessa avläsningar utan magnetfält reducerats till sådana

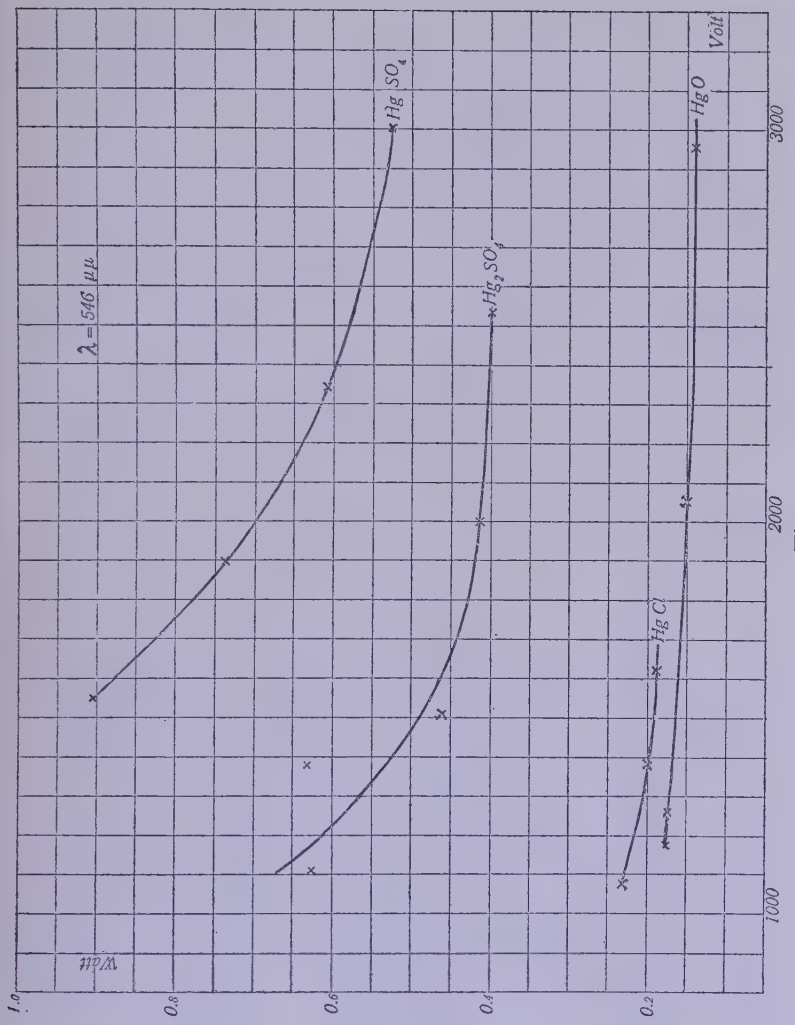

Fig. 7.

med magnetfält och kunna följaktligen åtminstone tillnärmelsevis jämställas med övriga erhållna värden.

Cd-salter:

Linjerna $\lambda = 644$, 538, 534, 508, 480, 468 $\mu\mu$ ha konstaterats. Av dessa voro linjerna $\lambda = 508$, 480, 468 $\mu\mu$ rätt

starka, linjen $\lambda = 644$ $\mu\mu$ något svagare. Linjerna $\lambda = 538$ och 534 $\mu\mu$ skönjdes med svårighet. De olika linjerna synas ha framträtt vid ungefär samma försöksbetingelser. Mätningar ha anställts å linjen $\lambda = 508$ $\mu\mu$.

Liksom vid föregående salter var även här förstoftningen kraftig, då salterna utsattes för katodstrålarna. Eftersom den erforderliga katodstråleenergien var relativt hög, hindrade den därav orsakade förstärkta förstoftningen i betydlig grad observationerna. Proven måste under avläsningarna ideligen utbytas för urladdningsrörets rengörning från förstoftade skikt på rörets väggar. På grund av förstoftningen ha så få mätningar utförts vid $Cd\,SO_4$. Av samma skäl äro alla avläsningar vid högre urladdningspotential behäftade med en viss osäkerhet.

De erhållna resultaten finnas återgivna i tab. IX och fig. 8.

Tab. IX.

$\lambda = 508$ $\mu\mu$.

Salt	a	V	E_2	Q
$Cd\,J_2$	69.5	3,680	695	1.97
	42.1	5,590	639	1.81
	26.5	8,460	610	1.73
	20.1	11,040	601	1.70
$Cd\,Cl_2$	70.9	5,890	1,135	3.22
	50.3	8,100	1,106	3.13
	36.4	11,040	1,091	3.09
$Cd\,SO_4$	71.5	9,940	1,931	5.47

Cr-salter:

Linjerna $\lambda = 521$ och 429 $\mu\mu$ ha konstaterats. Mätningar ha utförts vid den starkast synliga linjen, $\lambda = 521$ $\mu\mu$.

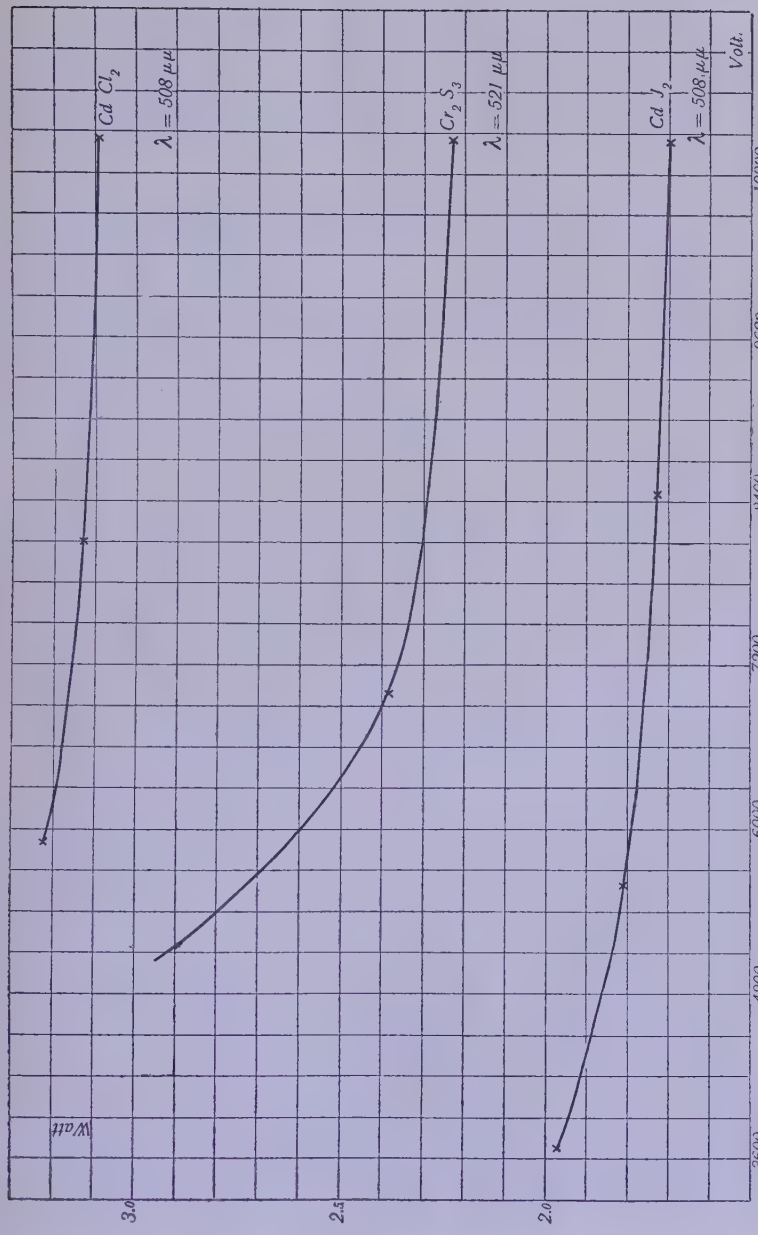
Cd Cl2
λ = 508 μμ
Cr2 S3
λ = 521 μμ
Cd J2
λ = 508 μμ
Watt
Volt.
3.0
2.5
2.0
3600
4800
6000
7200
8400
9600
10800

Fig. 8.

Vid $Cr_2 O_3$ har ett bandspektrum omöjliggjort mätningar. Efter vad som framgick av observationerna, synes linjespektrum vid detta salt vara förbundet med högre katodstråleenergi än vid $Cr_2 S_3$. Resultaten återfinnas i tab. X och fig. 8.

Tab. X.

$\lambda = 521\ \mu\mu$.

Salt	α	V	E_2	Q
$Cr_2 S_3$	72.8	5,150	1,019	2.89
	44.2	6,990	840	2.38
	26.3	11,040	786	2.23

Cu-salter:

De iakttagelser, som gjorts vid dessa salter, meddelas här i utdrag ur laborationsprotokollet.

Cu J: Då största disponibla strömstyrka användes, och hög spänning är förhanden, synes den vanliga vackert purpurfärgade luminiscensen på det starkast lysande stället övergå i grön luminiscens (linjeluminiscens), så snart katodstrålarna där koncentreras genom magnetfält. Enär ett starkt kontinuerligt utdraget spektrum skymmer, ha inga linjer kunnat upptäckas. Samtidigt med den gröna luminiscensens framträdande avsätter sig på urladdningsrörets väggar ett vackert gulrött beslag. Att detta beslag härrör från koppar och ej från jod eller kopparjodid bevisas därav, att det *ej* går att avlägsna med vatten, alkohol, eter eller kolsvavla men väl med koncentrerad uppvärmd saltsyra.

Cu SO_4: Över den vanliga ytterst svaga rödaktiga luminiscensen lagrar sig på det starkast lysande stället en grön luminiscens med tydliga linjer i grönt, då strömstyrka och spänning hållas vid största möjliga belopp, och katodstrålarna koncentreras genom magnetfält. På grund av de gröna linjernas svaga ljusstyrka har deras läge i spektrum ej kunnat fastställas, men de syntes grupperade fullständigt

på samma sätt som de spektrallinjer, vilka framträda hos *Cu*-salter, då dessa bombarderas av kanalstrålar. Härför kommer att redogöras i ett följande kapitel om kanalstrålel luminiscensen. Någon stark förstoftning, liknande den vid *Cu J*, har ej ifrågakommit vid detta salt.

Härmed har jag redogjort för den katodoluminiscens med linjespektrum, som jag varit i tillfälle att konstatera. Vid andra preparat än de här nu behandlade, vilka även prövats på linjeluminiscens, äro att anteckna neg. resultat. Jag förbigår alla rent kvalitativa observationer, som med dessa salter gjorts under undersökningens gång, och som ej innefatta något av intresse, utöver vad forskare på detta område före mig observerat. Jag vill endast till sist uppehålla mig ett ögonblick vid försöken med *Ca*-, *Ba*-, *Sr*- och *Mg*-salterna och de iakttagelser, som därvidlag gjorts. Hos samtliga nu sist nämnda prov har, efter det att strömstyrka och spänning uppnått vissa höga värden, den vanliga katodoluminiscensen övergått i en ny slags luminiscens med vackra bandspektra. I vilken grad dessa bandspektra äro att tillskriva de egentligen undersökta metallerna, deras salter eller möjligtvis föroreningar har jag ej prövat, eftersom jag ansett en dylik undersökning ligga utanför ramen för min uppgift, utom vid *Ba*-salterna, vars bandspektra varit synnerligen vackra och karaktäristiska samt uppvisat en rätt utpräglad konstans, allt under det att salternas anjoner varierat. Jag bifogar i tab. XI en jämförelse mellan mina avläsningar på bandens lägen (max.) och de uppgifter, som finnas i *Kaysers Handbuch der Spectroscopie* V sid. 153, över *Ba*-metallens bandspektrum. Endast de *Ba*-band ur Kaysers Handbuch, som ha någon motsvarighet i mina avläsningar, finnas här återgivna. De flesta starkare *Ba*-band enl. Kayser ha följaktligen här kommit med. Såsom synes är överensstämmelsen mellan de bägge serierna rätt träffande. Den slutsatsen ligger därför nära till hands, att det lyckats att med katodstråleexcitation av *Ba*-salter få fram *Ba*-metallens bandspektrum.

Tab. XI.

Avl. band vid Ba-salter	Ba-metallens bandspektr. enl. Kayser
$\mu\mu$	$\mu\mu$
650	649.3
630	629.1
605	604.0
585	586.4
570	570.1
550	549.3
535	534.9
520	521.4
510	508.6

b) Vid flytande lufts temperatur.

Med den försöksanordning, som jag skisserat sid. 10 och 20, ha utförts forskningar över den diskontinuerliga katodoluminiscensen vid flytande lufts temperatur.

Föremål för undersökningen blevo följande salter: *Na J*, *Na Cl*, *Li Br*, *Hg Cl*, *Hg* Cl_2, *Cd* J_2. Hos samtliga dessa preparat försvann linjeluminiscensen fullständigt vid den låga temperaturen, oberoende av försöksbetingelserna eljest. Som magnetfältet ej kunde användas i detta fall, övertygade jag mig varje gång, innan ett salt skulle utsättas för den låga temperaturen, att detsamma utan magnetfältets koncentrerande inflytande på katodstrålarna vid vanlig temperatur uppvisade diskontinuerlig katodoluminiscens med metallens linjer synliga. Och ofelbart försvunno dessa linjer vid rörets nedsänkande i Dewar-kärlet med flytande luft; strömstyrka och spänning må variera aldrig så mycket. Jag har vid den låga temperaturen uppmätt spänningar på

12,900 volt, utan att linjeluminiscens vid något salt givit sig till känna.

Däremot framträder vid de låga temperaturerna ofta en förstärkt kontinuerlig luminiscens av stor styrka och skönhet.

V. Allmänna slutsatser.

Redan vid behandlingen av *Na*-salterna hade jag tillfälle att framhålla, hurusom den energi hos katodstrålarna, vid vilken dessa salter uppvisa linjeluminiscens, är desto större, ju större saltets bildningsvärme är. Då nu samtliga observationsresultat föreligga, behöver jag endast hänvisa därtill för att vinna belägg för påståendet, att denna vid *Na*-salterna funna regel gäller som allmän lag för alla oorganiska salters diskontinuerliga katodoluminiscens — n. b., om man inskränker jämförelsen till en viss metalls salter och i varje fall till en viss linje i metallens spektrum. Angående sambandet mellan den ifrågavarande katodstråleenergien hos olika metallers salter och deras bildningsvärme har jag ej kunnat upptäcka någon som helst allmängiltig regel. Den grafiska framställningen av dessa fenomen, som strax följer, hoppas jag ytterligare skall belysa företeelserna ifråga.

Jag har här nedan uppdragit en jämförelse mellan å ena sidan den omhandlade katodstråleenergien hos de olika salterna, erhållen ur diagrammen fig. 4—8 och gällande för en bestämd urladdningspotential vid varje serie salter med samma metall, samt å andra sidan respektive salters bildningsvärme, hänfört till en gramatom av metallen. De urladdningspotentialer, för vilka denna jämförelse gjorts, ha valts, där möjligast största säkerhet vid mätningarna förefunnits, och så att alla utförligt undersökta preparat kommit med. Värdena på bildningsvärmet äro tagna ur

Landolt-Börnsteins tabeller, som innehålla uppgifter på bildningsvärmet för skilda salters grammolekyler, uttryckta i kg.-kal. Bildningsvärmet, motsvarande en gramatom av metallen, erhålles genom att dividera grammolekylens bildningsvärme med metallens atomantal i molekylen.

Na-salter:

Tab. XII.

$\lambda = 589$ $\mu\mu$ och 2,800 Volts urladdningspotential.

Salt	Katodstr.-energi i watt	Bildnings-värme
Na J	0.57	69.1
Na Br	0.60	86.1
Na Cl	0.70	97.9
$Na_2 CO_3$	0.91	136.3
$Na_2 SO_4$	0 98	164.3
(Na OH	0.99	102.7)[1]
$Na_2 H PO_4$	1.42	207.4
$Na_2 B_4 O_7$	2.18	374.0

Tab. XIII.

$\lambda = 568$ $\mu\mu$ och 8,000 Volts urladdningspotential.

Salt	Katodstr.-energi i watt
Na J	2.78
Na Br	2.98
Na Cl	3.43
$Na_2 CO_3$	4.23

[1] Osäkert resultat, se föreg.

Li-salter:

Tab. XIV.

$\lambda = 671$ $\mu\mu$ och 4,000 Volts urladdningspotential.

Salt	Katodstr.-energi i watt	Bildnings-värme
Li Br	1.14	79.96
Li Cl	1.27	93.8
$Li_2 CO_3$	1.34	98.6
$Li NO_3$	1.57	111.6
$Li_2 SO_4$	2.12	167.1

Hg-salter:

Tab. XV.

$\lambda = 546$ $\mu\mu$ och 1,700 Volts urladdningspotential.

Salt	Katodstr.-energi i watt	Bildnings-värme
Hg O	0.16	21.5
Hg Cl	0.19	31.3
$Hg_2 SO_4$	0.44	87.5
$Hg SO_4$	0.83	165.1

Cd-salter:

Tab. XVI.

$\lambda = 508$ $\mu\mu$ och 9,940 Volts urladdningspotential.

Salt	Katodstr.-energi i watt	Bildnings-värme
$Cd J_2$	1.71	48.8
$Cd Cl_2$	3.10	93.24
$Cd SO_4$	5.47	222.55

Samma regel gäller tydligtvis också för de salter med linjeluminiscens, vilka av en eller annan anledning ej underställts systematisk undersökning såsom *K*-, *Cr*- och *Cu*-salterna. Vid *Cu*-salterna pekar den starkare förstoftningen hos *Cu J* med ty åtföljande avskild ren koppar i den riktningen.

I fig. 9—13 är i diagram uppfört sambandet mellan bildningsvärmet och katodstråleenergien för de nyss omtalade särskilt valda urladdningspotentialerna.

Av den genomgripande roll att döma, som sålunda salternas bildningsvärme spelar vid dessa processer, måste salterna under katodstrålarnas inflytande först dissocieras i sina positiva och negativa komponenter, innan ljusemissionen i metallens spektrallinjer framträder. En annan företeelse, som kommer att bliva föremål för behandling i nästa kapitel, nämligen de uppträdande efterfärgerna hos salterna under katodstrålebombardemanget, bekräftar ytterligare denna slutsats.

Nödvändigheten av salternas dissociation, för att de ingående metallkomponenterna skola bringas till ljusemission, förklarar förhållandena vid flytande lufts temperatur, där ju all linjeluminiscens upphörde. Enl. *Pictets* m. fl. undersökningar utebli en mängd kemiska reaktioner vid temperaturnedsättning, vilket beror på reaktionshastighetens oerhörda minskning. Tydligen är det samma fenomen, den långsamt försiggående dissociationen vid lägre temperatur, som har till följd linjeluminiscensens upphörande.

En blick på kurvorna i fig. 4—8 giver uppenbart vid handen att linjeluminiscensen — vilket jag förut i förbigående påpekade beträffande *Na*-salterna — inträder vid desto lägre energivärden på katodstrålarna, ju större urladdningspotentialen är. Vid *Na*-salterna tyckes energien inom de av mig undersökta intervallen för strömstyrka och spänning avtaga lineärt med urladdningspotentialen. Vid andra salter erhålla kurvorna andra förlopp. På grund av att sålunda sambandet mellan katodstråleenergi och urladd-

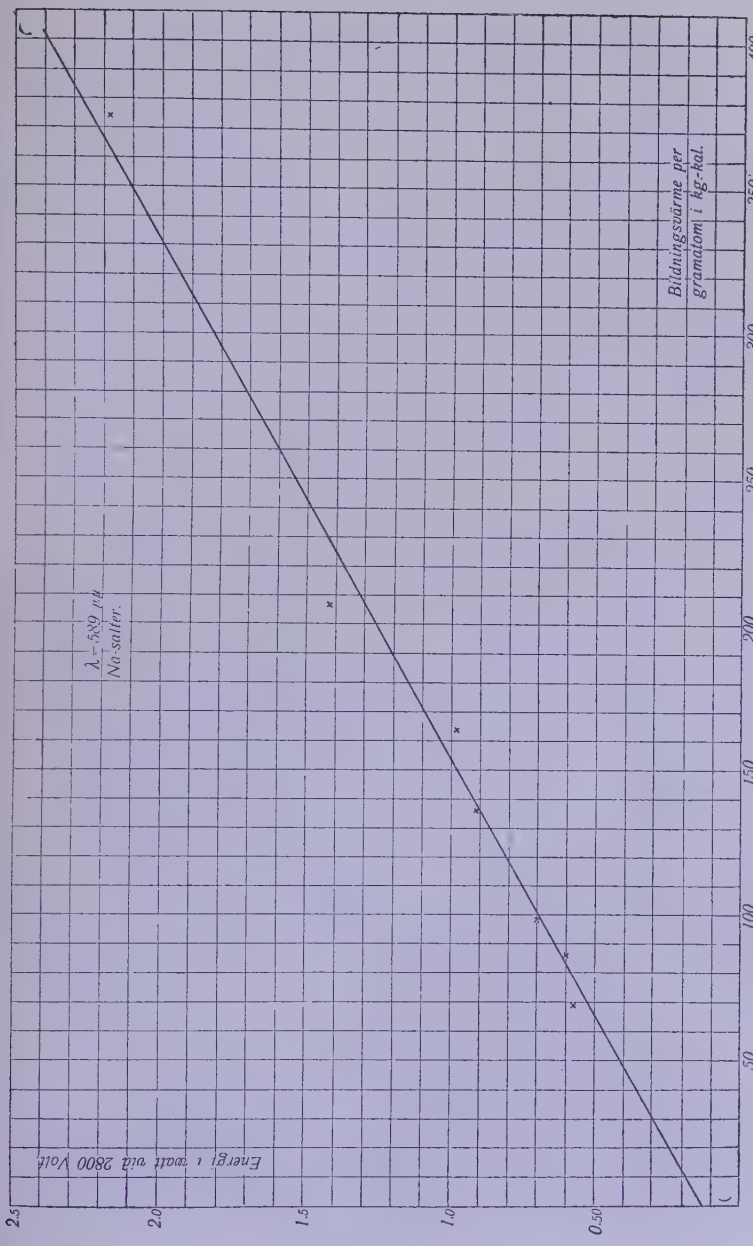
Energi i watt vid 2800 Volt
2.5
2.0
1.5
1.0
0.50
50
100
150
200
250
300
350
400
Bildningsvärme per gramatom i kg-kal.
λ = 589 μμ
Na-salter.

Fig. 9.

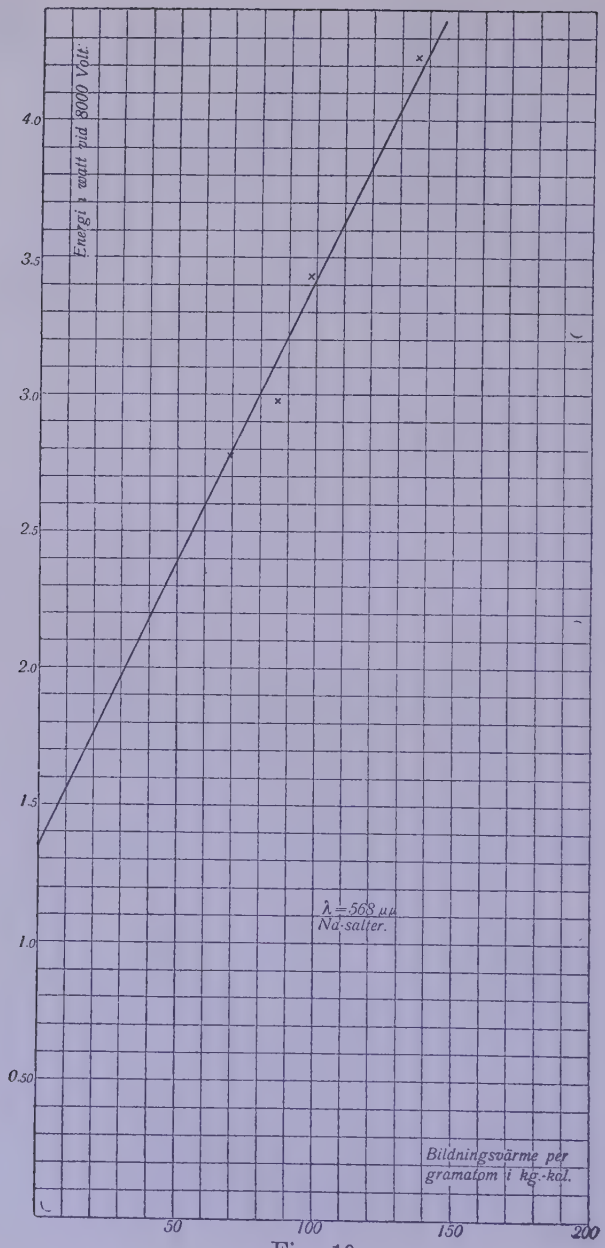
Energi i watt vid 8000 Volt.
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.50
λ = 568 μμ
Na-salter.
Bildningsvärme per
gramatom i kg.-kal.
50
100
150
200

Fig. 10.

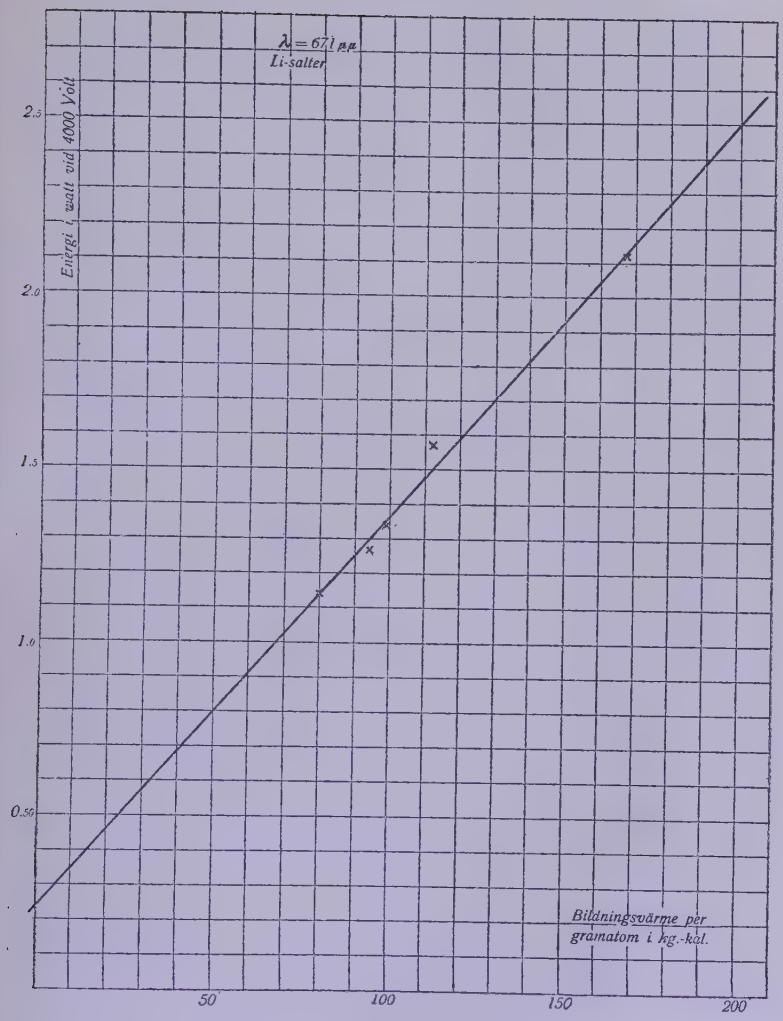

Fig. 11.

ningspotential är olika för olika metallers salter, tror jag mig med visshet kunna konstatera, att själva mekanismen vid ljusemissionen av metallers linjespektra under katodstrålarnas verkan varierar vid de skilda metallerna. Att utsäga något bestämt härom med ledning av det förelig-

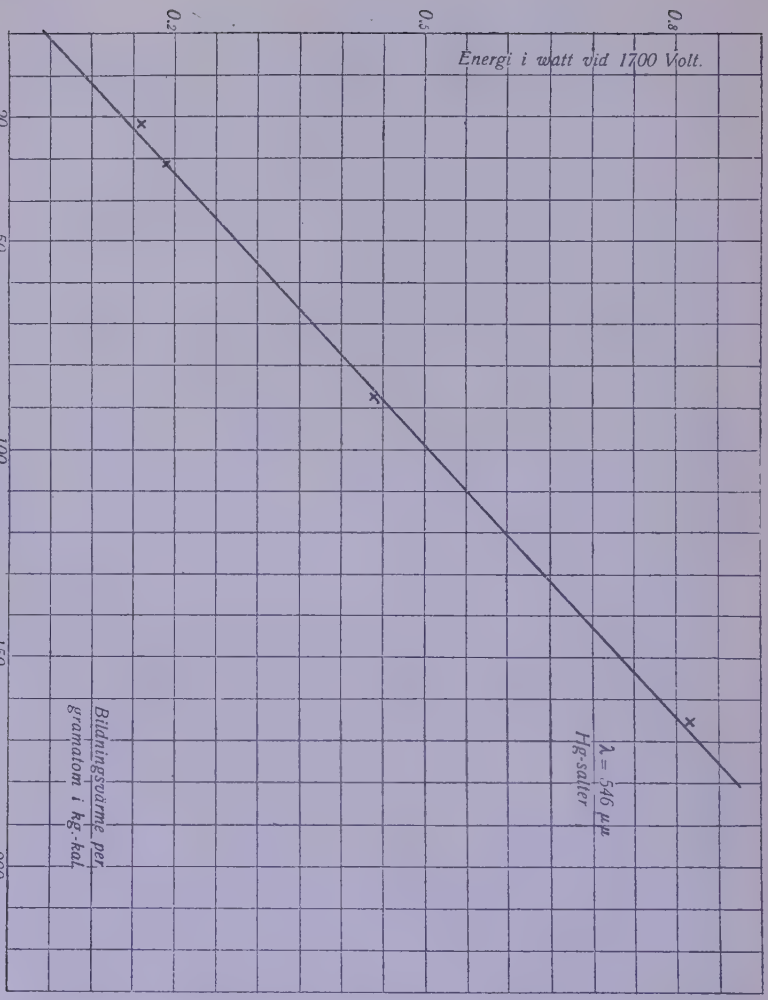

Fig. 12.

gande materialet vågar jag dock ej göra, enär en alltför stor osäkerhet nödvändigtvis måste vidlåda en hel del mätningar, speciellt vid högre urladdningspotential. Att vid dylika mätningar uppnå någon högre grad av noggrannhet torde för *en* person vara omöjligt. Helst borde två forskare samarbeta, då den ene observatören med urladdnings-

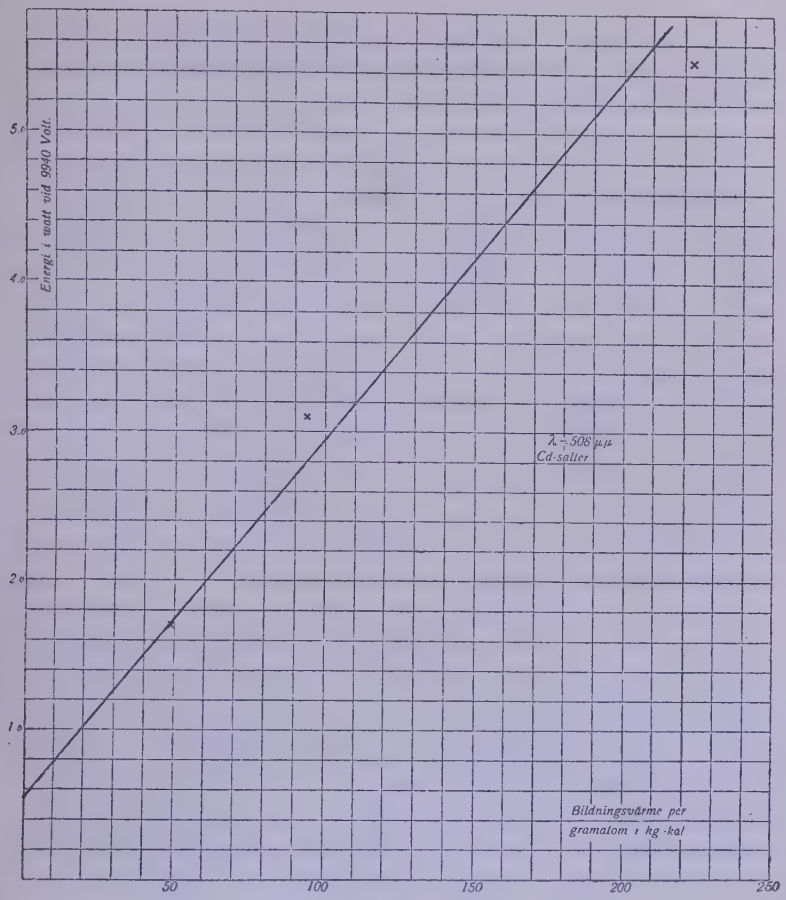

Fig. 13.

röret i särskilt mörkrum handhar de spektroskopiska observationerna, efter det att hans ögon väl utvilats. Den andre observatören avläser galvanometer och elektrometer. Om så bägge omväxla med att sköta den ena eller andra posten, böra tillfälliga fel i görligaste mån elimineras.

VI. Förslag att medels katodstråleexcitation av fasta salter undersöka uppdelningen af metallers spektrallinjer i elektrostatiska fält.

Vid sina undersökningar över spektrallinjers uppdelning i elektrostatiska fält har *J. Stark*[1] i och för utforskandet av alkalimetallernas och alkaliska jordmetallernas linjer begagnat sig av en metod att medels kanalstråleexcitation av de undersökta metallernas oxider och färglösa salter bringa metallatomerna att förstofta och således samtidigt att emittera ljus i metallernas serielinjer. Stark berättar, att de på detta sätt exciterade linjerna framgå ur ett gasskikt tätt ovanför det fasta saltet, där det elektrostatiska fältet anbringas. Ju hastigare de påfallande kanalstrålarna äro, desto större är det lysande gasskiktet. Det har sålunda lyckats Stark att vid *Na* erhålla ett lysande gasskikt på 1 mm:s tjocklek och vid *Li* på 3 mm:s.

Jag vill i detta sammanhang meddela, att jag vid katodstrålars stöt på fasta salter iakttagit lysande gasskikt av långt större tjocklek än de ovan av J. Stark omnämnda och med den undersökta metallens spektrallinjer synliga. Medan Stark vid kanalstråleexcitation räknar ljusskiktens tjocklek i mm., kan jag vid katodstråleexcitation understundom räkna samma skikt i cm. Vid *Na Cl* har jag t. ex. under katodstråleexcitation observerat lysande *Na*-ånga 4 à 5 cm. och vid *Li Br* lysande *Li*-ånga ungefär 2 cm. ovanför det bombarderade saltet. Och på liknande sätt förhåller det sig med andra undersökta prov. Även vid katodstrålarna gäller den regeln, att ju större deras hastighet är, desto tjockare är det lysande skiktet. Dessutom har jag funnit, att skiktets tjocklek ökas samtidigt, som katodstrålarnas intensitet, d. v. s. de påfallande elektronernas antal per ytenhet, ökas.

Med anledning av dessa iakttagelser tillåter jag mig föreslå en ny metod för undersökning av spektrallinjers egenskaper i elektrostatiska fält, nämligen med katodstråle-

[1] J. Stark, Elektrische Spektralanalyse (Leipzig 1914) sid. 23.

excitation av fasta salter och det elektrostatiska fältet verkande tvärs genom den sålunda lysande metallångan. Så vitt jag kan finna, vore ett dylikt tillvägagångssätt effektivare än det nu relaterade av J. Stark vid alkalimetallerna och alkaliska jordmetallerna använda. Det är ju möjligt, att vid realiserandet av denna plan av mig oförutsedda experimentella svårigheter inställa sig. Ingenting hindrar emellertid, att förslaget kommer under diskussion eller leder till praktiska försök.

VII. Salternas efterfärger vid den diskontinuerliga katodoluminiscensens framträdande.

Då katodstrålarna verka på oorganiska salter uppträda, såsom först *E. Becquerel*[1] och sedan *Goldstein*[2] konstaterade, vackra efterfärger hos de bombarderade salterna. Så färgas *Na Cl* gul eller brun, *K Cl* violett, *K Br* blå o. s. v. Likartade efterfärger antaga alkalihalogeniderna enl. *Becquerel* i den elektriska gnistans närhet, eller om man upphettar dem i alkalimetallernas ångor, vilket först *H. Rose*[3] och senare *Giesel*[4] påvisat. Vidare visa sig dylika efterfärger vid elektrolys av de smälta salterna enl. *Kirchhoff*[5] och *Bunsen*[6].

[1] E. Becquerel, Compt. rend. *101*, 209 (1885).

[2] Goldstein, Wied. Ann. *54*, 371 (1895); *60*, 491 (1897).

[3] H. Rose, Pogg. Ann. *120*, 1 (1863).

[4] Giesel, Chem. Ber. *30*, 156 (1897).

[5] Kirchhoff und Bunsen, Pogg. Ann. *113*, 345 (1861).

[6] En utmärkt framställning över hithörande fenomen finnes av *J. St. Sterba*, i Jahrb. d. Rad. u. Elekt. *4*, 306 (1907). Jag refererar till denna framställning och omnämner endast de undersökningar, som nära sammanhänga med min egen. Särskilt vill jag framhäva följande arbeten:

Abegg, Wied. Ann. *62*, 425 (1897).

Elster und Geitel, Wied. Ann. *59*, 487 (1896); *62*, 599 (1897); Phys. Zeitschr. *11*, 257 (1910).

E. Wiedemann och G. C. Schmidt, Wied. Ann. *54*, 618; *56*, 204 (1895); *64*, 78 (1898).

Siedentopf, Ber. D. Phys. Ges. *3*, 268 (1905).

Över orsaken till dessa efterfärger ha en mängd teorier uppställts. *Goldstein* antog helt enkelt, att salterna förvandlats i en ny fysikalisk modifikation, medan *E. Wiedemann* och *G. C. Schmidt* förklarade efterfärgerna genom uppkomsten av subklorider, subbromider o. s. v. *Elster* och *Geitel* antogo däremot, att saltet delvis reduceras till fri metall, som sedan med det oförändrade provet bildar en fast lösning med efterfärgen ifråga. Till denna teori anslöt sig sedan *Giesel*. Som skäl för sin uppfattning anförde Elster och Geitel, att de färgade salterna i likhet med alkalimetallernas amalgamer uppvisa en stark fotoelektrisk effekt. Genom ultramikroskopiska undersökningar av de färgade salterna kom *Siedentopf* till Elsters och Geitels slutsats, som även omfattats av *The Svedberg*[1] på grund av överensstämmelsen mellan de färgade salternas egenskaper och de flytande kolloida alkalimetallösningarnas, vilka lösningar först framställts av Svedberg. Dessutom ha hypoteser uppställts, enl. vilka efterfärgerna skulle härröra från närvaron av organiska färgämnen eller från rent optiska företeelser såsom ljusreflexioner mellan parallellväggiga, gasfyllda hålrum inom saltkristallerna.

Den vidlyftigaste litteraturen på detta område gäller koksalt, de efterfärger, som det erhåller med skilda ingrepp, och dessa efterfärgers samband med stensaltets naturliga färger. *Abegg's Handbuch der anorganischen Chemie* 2: 1, sid. 224 och 415 innehåller utförliga uppgifter härom.

E. Becquerel[2] fann koksaltets efterfärg genom katodstrålar vara brun. Goldstein[2] påvisade, att katodstrålarna färga stensaltet gult eller brunt: upphettas det bruna preparatet försiktigt, övergår färgen understundom i blått. Den blå efterfärgen kan också enl. Wiedemann och Schmidt[2] erhållas, om koksaltet uppvärmes, samtidigt som det utsättes för katodstrålarnas verkan; ja, det hade t. o. m. lyckats dem att åstadkomma den erforderliga uppvärmningen genom

[1] The Svedberg: Diss. Uppsala (1907).

[2] L. c. sid. 53.

katodstrålarna själfva, därigenom att deras energi ökades. Samtidigt som den blå efterfärgen framträdde, gav sig också *D*-linjen tillkänna.

De uppgifter, som finnas över andra salters efterfärger, äro delvis motsägande och osäkra. De återfinnas i ovan citerade arbeten. Viktigast äro Goldsteins[1] upplysningar ang. *Li Cl* och *K Cl*. Han hade funnit, att *Li Cl* under katodstrålarna blir mörkviolett, ljusviolett eller heliotropfärgat. Upphettades det mörkvioletta saltet (liksom förut det gula *Na Cl*), blev dess färg brunröd; upphettades de ljusvioletta eller heliotropfärgade proven, blevo de köttfärgade. Genom längre koncentration av katodstrålarna kunde den brunröda färgen hos *Li Cl* direkt genom dem framkallas. På liknande sätt förhöll sig *K Cl*. Efter att under katodstrålarna ha antagit heliotrop- eller violfärg, förvandlades *K Cl* genom upphettning övergående i en blå modifikation.

Oaktat sålunda problemet från flera synpunkter blivit föremål för behandling, kan man ej påstå, att diskussionen härom blivit slutförd. De olika försöken ha verkställts med alltför olika försöksbetingelser, för att några enhetliga resultat skulle kunna ha vunnits. För att få en bestämd utgångspunkt har jag nöjt mig med att observera de efterfärger, som framträtt, samtidigt med att proven uppvisat linjeluminiscens, och har härigenom kommit till överraskande generella resultat.

Alla *Na*-salter, som varit föremål för min undersökning, ha, samtidigt som den diskontinuerliga katodoluminiscensen hos dem framträtt, d. v. s. samtidigt som *D*-linjen blivit synlig, antagit vacker mörkblå efterfärg. Då försöksbetingelserna ej voro sådana, att linjeluminiscensen uppstod, framträdde ej heller den blå efterfärgen enbart genom katodstrålarnas verkan; katodstrålebombardemanget må fortsätta aldrig så länge. Ökades katodstråleenergien starkt, försvann den blå efterfärgen, alldeles som Goldstein förut funnit vid det av katodstrålar gul- eller brunfärgade kok-

[1] L. c. sid. 53.

saltet, som vid svag upphettning övergående antog blå färg, men vid fortsatt upphettning förvandlades i färglös varieté.

På ungefär samma sätt som *Na*-salterna förhöllo sig övriga undersökta prov. *Li*-salterna uppvisade sålunda brunviolett efterfärg på det starkast bestrålade stället, som gav linjeluminiscens. Omkring denna brunvioletta punkt voro proven violettfärgade. Även här överensstämmer alltså den linjeluminiscerande fläckens efterfärg med den efterfärg, som Goldstein fick fram hos svagt katodobestrålat *Li*-salt genom upphettning. *Hg*-salterna antogo gråsvart och *Cd*-salterna blågrå efterfärg på ställen, som visat linjeluminiscens. Även för dessa preparat gäller, att färgen är lika för alla salter med samma metall. *K*-salterna blevo alla ljusblå till färgen vid starkaste bestrålning. Med energisvagare katodstrålar blir färgen hos de olika *K*-salterna olika: *K Cl* violfärgat, *K Br* brungult, $K_2 SO_4$ violett, $K Cl O_3$ gult. *Rb Cl* och *Cs Cl* blevo bägge vid starkaste bestrålning och linjeluminiscens grönaktiga till färgen.

Beträffande en allmängiltig förklaring till dessa företeelser kan jag ej finna annat, än att man obetingat måste ställa sig på den av *Elster* och *Geitel* m. fl. företrädda ståndpunkten, enligt vilken efterfärgerna skulle härröra från metallernas fasta lösningar i överskott av deras salter. Jag uttalar mig här ej om orsaken till de efterfärger, som framträda under så energisvaga katodstrålar, att linjeluminiscensen uteblir, utan inskränker mig till de efterfärger, som uppstå samtidigt med densamma. Ingen annan teori än Elsters och Geitels kan då förklara överensstämmelsen mellan efterfärgerna hos salter med samma metall, som jag genom min undersökning upptäckt. Ett annat stöd för denna uppfattning tror jag mig i enlighet med *The Svedberg*[1] kunna hämta ur likheten mellan de av mig konstaterade efterfärgerna och de flytande kolloida metallösningarnas färger. I tab. XVII har jag uppdragit en jämförelse mellan mina efterfärger och färgerna hos de av Svedberg[1] framställda

[1] L. c. sid. 54.

kolloida metallösningarna. Lösningsmedel är vid alkalimetallerna etyleter, vid *Cd* och *Hg* isobutylalkohol.

Tab. XVII.

Metall	Efterfärg vid katodobestrålning	Kolloida metallösningens färg
Na	Mörkblå	Purpur — violett — blå
Li	Brunviolett	Brun
K	Ljusblå	Blå — Blågrön
Rb	Grönaktig	Grönaktigt blå — grönaktig
Cs	Grönaktig	Blågrön — grönaktigt grå
Hg	Gråsvart	Grå
Cd	Blågrå	Gråsvart

Vad beträffar uppkomsten av de efterfärger, som framträda under inverkan av sådana katodstrålar, vilkas energi ej uppnår gränsen för linjeluminiscens är förklaringen mera svåråtkomlig. Huruvida man här har att göra med fysikaliska eller kemiska modifikationer av ämnena torde bero på, vad man vill innefatta i dessa begrepp. Intressanta äro emellertid Goldsteins samt Wiedemanns och Schmidts iakttagelser, enligt vilka dessa efterfärger vid upphettning övergå i nya efterfärger, som överensstämma med dem vid linjeluminiscen framträdande. Det vill synas, som om den kemiska föreningen i detta fall överföres i en labil modifikation, som vid upphettning sönderfaller, varvid den avskilda metallen med överskott av saltet bildar en fast lösning. Säkerligen skulle en ingående undersökning af dessa företeelser lämna värdefulla insikter i elektronens kemi.

VIII. Katodstrålars förstoftande inverkan.

Som jag i flera fall ovan omnämnt, verka katodstrålar av högre energi starkt förstoftande på de bombarderade

salterna. Ofta är denna förstoftning förbunden med sönderdelning av saltet. I vissa fall tyckes dock själva saltet som sådant förstofta såsom t. ex. *Ca-*, *Ba-*, *Sr-*, *Mg-*, *Zn*-salterna. För att pröva, huruvida de rena metallerna förstofta under katodstrålarnas verkan, har jag utsatt fina silverspeglar för bombardemang men ej kunnat finna någon som helst förändring hos dem, även om katodstrålarnas energi ökades enormt.

I likhet med vad som är fallet vid kanalstrålarna skulle enl. *Goldstein* [1] katodstrålarna kunna verka förstoftande på metallytor, om än katodstrålarnas verkan är ojämförligt mycket svagare än kanalstrålarnas. Goldstein stöder denna sin uppfattning dels på egna iakttagelser, dels på ett uttalande af *G. Granqvist*[2], som iakttagit, att minimum av metallbeslag, som uppträder på glasplattor, placerade under katoden, vid katodförstoftning under urladdning, förefinnes, där fosforescensen hos glaset är som starkast. Fråga är emellertid, om ej dessa Goldsteins och Granqvists iakttagelser enklast låta sig förklaras genom mot katoden reflekterade kanalstrålars stötverkan. Sannolikheten av detta förklaringssätt har åtminstone *C. Bergholm*[3] i enl. med *J. Starks* teori för katodförstoftning trovärdigt ådagalagt. Enl. vad som *Bergholm* meddelat mig, skulle den av *Granqvist* iakttagna inverkan från katodljus på förstoftade metallskikt, som befinna sig 1 à 2 mm. under den trådformade katoden — metallskikten försvinna, där katodljuset har max., där alltså katodstrålarnas intensitet är störst — bero därpå, att gnistor slå över mellan katoden och metallskikten, då förtunningen är långt driven. Metallskiktens försvinnande i detta fall sammanhänger alltså ej med en katodstrålarnas förstoftande inverkan i vanlig mening.

---

[1] E. Goldstein, Zeitschr. f. Instrumentenk. *16*, p. 211 (1896); Verh. D. Phys. Ges. *4*, 238 (1902).

[2] G. Granqvist, Övers. Förhandl. Sv. Vet. Ak., *54* p. 575 (1897).

[3] C. Bergholm, Ann. der Phys. (4), *43*, p. 1 (1914).

KAP. II.

Kanalstråleluminiscens med diskontinuerligt spektrum.

I. Historik.

Liksom upptäckten av katodstrålarna föranleddes av deras luminiscensverkan genom stöt på den materia, som befann sig i deras väg, så var även den luminiscensväckande egenskapen hos kanalstrålarna det fenomen, som förde till deras utforskande. De övervägande positivt laddade rent materiella kanalstrålarnas bana i ett med förtunnad gas uppfyllt rum kännetecknas av det luminiscensljus, som gasen under kanalstrålebombardemanget emitterar. I själva verket var detta luminiscensljus orsaken till, att *Goldstein* kom att ägna kanalstrålarna sin uppmärksamhet och göra dem till föremål för studium.

Ej endast gaser bringas att utsända ljus, då de utsättas för kanalstrålarnas stöt, utan även fasta kroppar. Liksom man vid katodstrålarnas luminiscensverkan på fasta kroppar kunde särskilja två fall, grundväsentligt olika: dels då den av katodstrålarna uppväckta luminiscensen ger kontinuerligt spektrum eller bandspektrum, dels då luminiscensljuset ger diskontinuerligt spektrum, så existerar även samma förhållande beträffande kanalstrålarna. Över hithörande fenomen ha åtskilliga uppsatser utkommit av trycket. De intressantaste i den vägen ha publicerats av *J. Stark* och *G. Wendt*[1].

[1] J. Stark und G. Wendt, Ann. d. Phys. (4), *38*, 669, 690 (1912).

Som sistnämnda arbeten utgöra ett så oerhört framsteg framför allt annat, som gjorts på detta område, och då de så att säga i sig innesluta föregående forskares resultat, nöjer jag mig med att hänvisa till dem, helst som där tillbörligt beaktas dittills offentliggjorda undersökningar på området. Kanske bör jag för fullständighetens skull omnämna trenne uppsatser av *A. Odencrants*[1], *H. v. Dechend* und *W. Hammer*[2] samt *H. Baerwald*[3] över bl. a. kanalstråleluminiscens, vilka dock ej innefatta något av större intresse för den fråga, som här är uppställd.

Som min undersökning ej utsträckt sig till kanalstråleluminiscens med kontinuerligt spektrum utan inskränkts till att behandla kanalstråleluminiscens med diskontinuerligt spektrum, kommer mitt referat endast att gälla det Starks och Wendts arbete, som avhandlar sistnämnda fenomen.

Till föremål för sin undersökning hade Stark och Wendt valt *Li-*, *Na-*, *K-*, *Rb-*, *Cs-*, *Mg-*, *Ca-*, *Sr-*, *Ba-*, *Tl-*, *Al-* och *Zn*-salter. Alla de nämnda salterna uppvisade under kanalstrålarnas stöt sina resp. metallers serielinjer. Endast synliga delen av spektrum undersöktes. Genom att undersöka olika salter av samma metall, kunde de konstatera, att emissionen av en metalls serielinjer genom kanalstrålarna är oberoende av metallföreningens kemiska natur. Vanligtvis arbetade Stark och Wendt med vätekanalstrålar. Vid *Na-* och *Ca*-salter använde de sig också av syre-, kväve- och kvicksilverkanalstrålar och funno således, att serieemissionen hos de bombarderade salterna var oberoende av kanalstrålarnas natur. Vidare befanns, att det nödvändiga villkoret för den synliga serieemissionens framträdande var frånvaron av ljusabsorption hos preparatet i det synliga spektret.

Dessutom konstaterade Stark och Wendt — vilket jag hade tillfälle att framhålla i avhandlingens början — att

[1] A. Odencrants, Arkiv f. Mat., Astr. och Fys. *6*, N:o 27 (1910).
[2] Dechend und Hammer, Verh. D. phys. Ges. *12*, 531 (1910).
[3] H. Baerwald, Ann. d. Phys. (4), *39*, 849—886 (1912).

metallinjerna framträda först ovanför skarpt markerade tröskelvärden på urladdningspotentialen, d. v. s. ovanför bestämda värden på kanalstrålarnas kinetiska energi.

Jag bifogar i tab. XVIII de resultat, som Stark och Wendt funnit vid sina undersökningar. De i tabellen uppgivna spänningarna äro potentialdifferenserna i de olika fallen mellan urladdningsrörets elektroder, uppmätta medels en Brauns elektrometer. Enär kanalstrålarna erhålla sin kinetiska energi genom acceleration i katodfallet, måste här nedan framställda spänningar minskas med cirka 100 volt, för att man skall erhålla det accelererande fältet.

Genom att vid $Ca\,F_2$ variera strömstyrkan mellan 1—8 milliamp. och vid *Na Cl* mellan 4—15 milliamp., varvid spänningarnas tröskelvärden i de bägge olika fallen förhöllo sig konstanta, drogo Stark och Wendt den slutsatsen, att strömstyrkan var utan inflytande på dessa tröskelvärden. Likaså trodde de sig ur observationer vid olika *Ca*-salter (se tab. XVIII) kunna sluta, att tröskelvärdena voro oberoende av den emitterande metallens kemiska förening. För de olika katjonerna variera däremot spänningarnas tröskelvärden betydligt från metall till metall, såsom ju tabellen utvisar.

Den omständigheten, att vid kalcium tröskelvärdet för ljusemissionen är nästan oberoende av metallens kemiska förening, tolka Stark och Wendt så, att det arbete, som erfordras för att lösslita en metallatom från dess kemiska förening, är försvinnande litet jämfört med den totala energi, som atomen i form av potentiell, kinetisk och optisk energi erhåller av de bombarderande kanalstrålepartiklarna vid den kemiska föreningens sönderfallande.

Sedan Stark och Wendt genom direkta försök konstaterat, att de emitterade spektrallinjerna sakna *Dopplereffekt*, att ljusemissionen hos metallsalterna genom kanalstrålarnas stöt ej står i något närmare samband med samma salters förstoftning under kanalstrålebombardemanget, och att det spektrallinjeemitterande partiet är att finna i ett i gasrummet omedelbart ovanför saltet beläget tunt skikt av me-

Tab. XVIII.

Metall	Förening	Lum.-färg	Tröskel-värde volt	Strömstyrka Milliamp.
Litium	Li Cl	Röd	600	3.6
	Li_2 O	„	600	
	Li_2 O	$\lambda = 610$	< 800	
Natrium	Na Cl	Gul	750	4—15
Kalium	K Cl, K_2 O	$\lambda = 580$	< 2,400	2.5
Rubidium	Rb_2 O	$\lambda = 572$	< 3,500	1.7
Cæsium	Cs Cl	$\lambda = 566$	> 4,500	
Magnesium	Mg Cl_2	$\lambda = 518$	< 1,200	3.6
Calcium	Ca F_2	Röd-violett	1,500	1—8
	Ca CO_3		1,500	
	Ca SO_4		1,500	
	Ca O		1,400	
Strontium	Sr Cl_2	$\lambda = 496$	< 2,500	3
Barium	Ba Cl_2	$\lambda = 554–493$	< 2,500	3
Thallium	Tl_2 SO_4?	$\lambda = 535$	> 4,500	
Aluminium	Al_2 O_3	$\lambda = 396$	> 4,500	
Zink	Zn O	$\lambda = 478$	> 4,500	

tallatomer med positiv laddning, framställa de sin uppfattning om ljusemissionens ursprung. Jag avtrycker här ordagrant, vad de skriva härom. "Durch ihren Stoss auf die Moleküle der festen Oberfläche werfen dank ihrer grossen kinetischen Energie die einzelnen Kanalstrahlenteilchen Metallatome, losgetrennt von ihren Valenzelektronen als langsame positive Atomionstrahlen aus der festen Oberfläche in den angrenzenden Gasraum. Bei dem sie abtrennenden Stoss übernehmen diese positiven Metallionen in einige ihrer Serienfrequenzen oszillatorische Energie; diese strahlen sie nach dem Austritt aus der festen Oberfläche auf einer relativ sehr kleinen Wegstrecke im Gasraum aus und laufen dann nicht leuchtend als langsame Strahlen

weiter in den Gasraum hinein. Dieser Fall von Überführung oszillatorischer Energie aus der festen Oberfläche in den Gasraum durch die positiven Metallionen ist indes nur dann möglich, wenn die feste Oberfläche Licht von denjenigen Frequenzen, in welcher die Metallionen Energie aufgenommen haben, wenig oder gar nicht absorbiert; absorbiert dagegen die Oberfläche in diesen Frequenzen, so entzieht sie den abgetrennten Metallionen bei ihrem Austritt ihre Lichtenergie, diese laufen von Anfang an ohne Lichtemission in den Gasraum ein und trotz kräftiger Zerstäubung ist dann in diesem Falle an der Auftreffstelle der Kanalstrahlen keine Serienemission wahrnehmbar".

Då det syntes mig, att det av Stark och Wendt insamlade materialet, vilket de använt som belägg för sina ganska vittgående slutsatser över kanalstråleluminiscensen, delvis var otillräckligt, har jag på vissa punkter utvidgat detsamma. Särskilt ansåg jag, att man genom undersökning av flera salter med samma metall, borde säkrare övertyga sig om, huru det förhåller sig med konstansen hos tröskelvärdet av spänningen för serieemission, då metallföreningen varieras. Redan Stark och Wendt hade ju med den enda metall, som de på detta sätt undersökt, funnit, att tröskelvärdet ej var fullständigt konstant vid de olika föreningarna (se tab. XVIII, resultatet vid *Ca*-salterna). Ej heller ansåg jag det hopbragta materialet vara tillfyllest för att belysa strömstyrkans inflytande. Endast vid tvenne salter (*Na Cl* och $Ca F_2$) hade strömstyrkan varierats.

II. Försöksanordning.

De experimentella resurser, som stodo mig till buds, voro ej riktigt desamma som dem, vilka Stark och Wendt använt. I första rummet gäller detta strömkällan. Stark

och Wendt hade som strömkälla för spänningar upp till 4,500 volt laborerat med en högspänningsdynamo; vid högre spänning använde de sig av ett stort induktorium. Jag har hela tiden arbetat med likström, och som generator begagnat den i samband med redogörelsen för katodoluminiscensen i kap. I avd. II beskrivna influensmaskinen. Medan den sålunda av Stark och Wendt använda strömstyrkan ingen gång understeg 1 milliamp. och sattes ända upp till 15 milliamp., har jag ej kunnat överskrida 0.62 milliamp.

Försöksanordningen var i övrigt, frånsett vissa detaljer, likartad med den i kap. I avd. II beskrivna. Något koncentrerande longitudinellt magnetfält har naturligtvis ej ifrågakommit. Vid spänningar högre än 3,500 volt tillkopplades parallellt med urladdningsröret de bägge Leydnerflaskorna i serie, och spänningen mellan beläggningarna hos flaskan med den största kapaciteten uppmättes.

Urladdningsröret är avbildat i fig. 14. Dess längd var 23 cm., dess inre diam. 3 cm. Anoden är i fig. betecknad med *A*, den genomborrade katoden med *K*. Tilledningen till katoden skedde genom ett i figuren ej angivet sidorör. Det undersökta provet befann sig i den snett ställda skålen *B*. Denna var liksom elektroderna av aluminium. Omedelbart nedanför skålen *B* var röret försett med inslipning för införande av proven. Genom sidoröret *P* stod urladdningsröret i förbindelse med pumpsystemet. För att skydda den övre delen av röret för katodstrålarna var där fästad en glimmerplatta *G*, som tog emot katodstrålarnas stöt. Platinatrådarna, som genom insmältningar i glaset fasthöllo elektroderna och aluminiumskålen, voro på rörets yttersida virade om järnöglor, vilka fastkittades vid glaset med en väl bearbetad blandning av glycerin och blyglete. Detta kitt är långt mera än någonsin gips genom sin hårdhet i stånd att skydda platinatrådarna från att avbrytas vid urladdningsrörets yttersidor, vilket eljes ofta händer. På järnöglorna krokas trådarna, som förmedla strömmen till urladdningsröret. Samma skyddsmedel för elektroderna

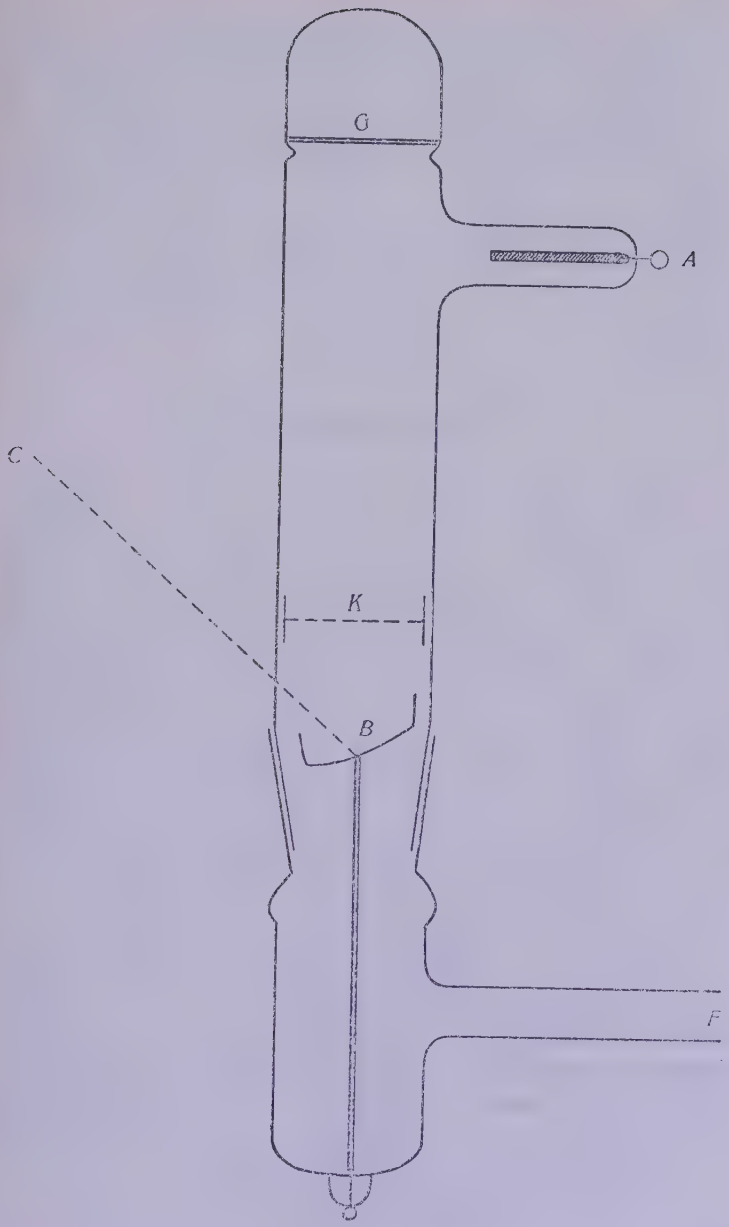

Fig. 14.

användes för övrigt också vid undersökningen över katodstråleluminiscensen. Katoden K och skålen B voro i ledande förbindelse med varandra och jämte galvanometerns ena pol och elektrometerns hylle avledda till jorden.

Det luminiscerande provet observeras medels den förut beskrivna spektralapparaten i den genom den streckade linjen CB kännetecknade riktningen.

Observationsmetoden var i allt överensstämmande med den som följdes vid undersökningen över katodstråleluminiscensen.

III. Observationsresultat.

Vid de metaller, som förut *Stark* och *Wendt* undersökt, har jag i huvudsak funnit samma spektrallinjer, som dessa forskare konstaterat. De av dem angivna svaga linjerna har jag ofta ej kunnat påträffa, väl beroende på att den av mig begagnade spektralapparaten varit ljussvagare än det Bunsenska spektroskop, med vilket Stark och Wendt arbetat. Riktigheten av de intensitetsbeteckningar, som nämnda forskare bifogat sina observerade linjer, har jag kunnat bekräfta i alla fall utom vid *Rb*- och *Sr*-salterna. Vid *Rb Cl* ha de åsatt linjen $\lambda = 572\ \mu\mu$ största intensitet, medan jag vid detta salt funnit $\lambda = 420\ \mu\mu$ vara den starkaste linjen. För *Sr*-salterna ha Stark och Wendt uppgivit $\lambda = 496\ \mu\mu$ vara den starkaste linjen; jag har där funnit $\lambda = 461\ \mu\mu$ vara intensivast och linjen $\lambda = 496\ \mu\mu$ relativt svagare.

Medan Stark och Wendt inskränkt sin undersökning till att huvudsakligen omfatta alkalimetallernas och alkaliska jordmetallernas grupper, har jag utsträckt min undersökning även till följande på den diskontinuerliga kanalstråleluminiscensen förut ej utforskade element: *Ag, Cd Hg, Cu, Cr.* Den förut av *W. Arnold*[1] och *V. Carlheim-Gyllensköld*[2]

[1] W. Arnold, Ann. d. Phys. *61*, p. 326 (1899).

[2] V. Carlheim-Gyllensköld, Ark. f. Mat., Astr. och Fys. *4*, N:o 33 (1908).

gjorda samt av Stark och Wendt bekräftade upptäckten, att emissionen av serielinjer vid kanalstråleluminiscensen är, vad spektrums sammansättning angår, oberoende av metallföreningens kemiska natur, har jag genomgående funnit gälla, så vitt man använder sig av tillräckligt hög urladdningspotential i de olika fallen.

I tab. XIX har jag sammanfört de spektrallinjer, som jag varit i tillfälle att observera.

Tab. XIX.

Salt	Linje i $\mu\mu$	Okulär intensitet
Na J	616	Ganska svag
Na Br	589	Utomordentligt stark
Na Cl	568	Stark
Na OH	515	Svaga
$Na_2 CO_3$	498	
$Na NO_3$		
$Na_2 SO_4$		
$Na_2 HP O_4$		
$Na_2 B_4 O_7$		
K J		
K Cl	580	Svag
$K_2 SO_4$		
$K Cl O_3$		
Li Br	671	Stark
Li Cl	610	Stark
Li OH	497	Ganska starka
$Li NO_3$	460	
$Li_2 CO_3$		
$Li_2 SO_4$		
Rb Cl	630	Ganska starka
	572	
	565	Ytterst svag
	420	Stark

Tab. XIX. (Fortsättning.)

Salt	Linje i $\mu\mu$	Okulär intensitet
Cs Cl Cs NO_3	566	Svag
Mg O Mg Cl_2 Mg Br_2 Mg SO_4	518 517 516	Starka
Ca Br_2 Ca F_2	650 612	Starka
Ca O Ca S Ca CO_3 Ca SO_4	560 535 488 445 430	Ganska starka
	423	Stark
Sr Cl_2 Sr CO_3 Sr SO_4 Sr H PO_4	641 639 550 524 496	Ganska starka
	461	Stark
	422 408	Svaga
Ba Cl_2 Ba S Ba $(OH)_2$	650 614 606	Ganska starka
Ba SO_4	554	Stark
	493 455	Svaga

Tab. XIX. (Fortsätttning.)

Salt	Linje i $\mu\mu$	Okulär intensitet
$Tl_2 SO_4$	535	Stark
$Tl NO_3$		
Zn O	481	Svaga
Zn S	472	
$Zn Cl_2$	468	
$Zn SO_4$		
$Cd J_2$	644	Stark
$Cd Cl_2$	538	Svaga
$Cd CO_3$	534	
$Cd SO_4$	508	Synnerligen stark
	480	Starka
	468	
Hg Cl	615	Ganska stark
$Hg_2 SO_4$	579	Stark
$Hg SO_4$	546	Ytterst stark
	492	Starka
	436	
	405	Ganska stark
$Ag NO_3$	546	Ganska starka
Ag Cl	521	
Cu J	570	Ganska starka
$Cu Cl_2$	522	
$Cu SO_4$	515	
	510	Svaga
	465	
$Cr_2 O_3$	521	Ganska stark
$Cr_2 S_3$	429	Svaga
	427	
	425	

Under det att Stark och Wendt i några fall tyckas ha hänfört sina spänningsmätningar vid kanalstråleluminiscensen till en viss färgs framträdande hos provet, i andra fall till vissa linjers framträdande, har jag genomgående gjort mina mätningar för bestämda spektrallinjer. Jag har efter upprepade försök funnit denna metod giva de säkraste resultaten. I tab. XX återgivas de resultat, som jag vunnit vid spännings- och strömstyrkemätningarna.

Tab. XX.

Spektrallinje $\mu\mu$	Förening	Spänning Volt	Ström Milliamp.	Spektrallinje $\mu\mu$	Förening	Spänning Volt	Ström Milliamp.
589	Na J	900	0.56	589	$Na_2 HP O_4$	1050	0.55
		900	0.29			1050	0.30
		900	0.15			1050	0.16
	Na Br	900	0.57		$Na_2 B_4 O_7$	1200	0.57
		900	0.27			1200	0.30
		900	0.14			1200	0.15
	Na Cl	900	0.56	568	Na J	3300	0.55
		900	0.30			3300	0.28
		900	0.16			3300	0.15
	Na OH	900	0.56		Na Br	3300	0.57
		900	0.31			3300	0.28
		900	0.16			3300	0.15
	$Na_2 CO_3$	900	0.54		Na Cl	3300	0.54
		900	0.32			3300	0.26
		900	0.16			3300	0.14
	$Na NO_3$	900	0.54		Na OH	3300	0.57
		900	0.30			3300	0.28
		900	0.16			3300	0.13
	$Na_2 SO_4$	1000	0.54		$Na_2 CO_3$	3300	0.55
		1000	0.33			3300	0.30
		1000	0.17			3300	0.11

Tab. XX. (Fortsättning.)

Spektrallinje $\mu\mu$	Förening	Spänning Volt	Ström Milliamp.	Spektrallinje $\mu\mu$	Förening	Spänning Volt	Ström Milliamp.
	$Na\,NO_3$	3300	0.55		$Li\,NO_3$	1000	0.57
		3300	0.32			1000	0.30
		3300	0.12			1100	0.15
	$Na_2\,SO_4$	3700	0.54		$Li_2\,CO_3$	1000	0.55
		3700	0.30	671		1000	0.31
568		3700	0.15			1100	0.15
	$Na_2\,H\,PO_4$	3900	0.56		$Li_2\,SO_4$	1100	0.55
		3900	0.29			1100	0.29
		3900	0.13			1200	0.14
	$Na_2\,B_4\,O_7$	4400	0.57		Rb Cl	3200	0.59
		4400	0.30	420		3300	0.33
		4400	0.15			3500	0.17
	K Cl	2500	0.60		Mg O	1500	0.59
580		2500	0.32			1500	0.29
		2500	0.15			1500	0.15
	Li Br	1000	0.55		$Mg\,Cl_2$	1500	0.62
		1000	0.32	518		1500	0.30
		1100	0.14			1500	0.15
	Li Cl	1000	0.57		$Mg\,Br_2$	1500	0.61
671		1000	0.36			1500	0.41
		1100	0.15			1500	0.19
	Li OH	1000	0.56		$Mg\,SO_4$	1500	0.57
		1000	0.31			1500	0.30
		1100	0.17			1500	0.16

Tab. XX. (Fortsättning.)

Spektrallinje $\mu\mu$	Förening	Spänning Volt	Ström Milliamp.	Spektrallinje $\mu\mu$	Förening	Spänning Volt	Ström Milliamp.
612 650	$CaBr_2$	1600	0.54	461	$SrSO_4$	2700	0.58
		1600	0.29			2700	0.34
		1750	0.17			2800	0.19
	CaF_2	1650	0.55		$SrHPO_4$	2800	0.60
		1650	0.32			2800	0.30
		1800	0.15			2900	0.18
	CaO	1600	0.55	554	$BaCl_2$	2600	0.54
		1600	0.33			2650	0.32
		1750	0.17			2650	0.17
	CaS	1600	0.55		BaS	2600	0.55
		1700	0.32			2600	0.31
		1800	0.14			2600	0.17
	$CaCO_3$	1650	0.56		$Ba(OH)_2$	2600	0.60
		1650	0.32			2600	0.33
		1750	0.15			2600	0.13
	$CaSO_4$	1650	0.55		$BaSO_4$	2700	0.59
		1650	0.32			2700	0.30
		2000	0.13			2900	0.15
461	$SrCl_2$	2700	0.59	535	$TlNO_3$	4800	0.56
		2700	0.30			4800	0.31
		2700	0.15			4800	0.17
	$SrCO_3$	2800	0.59		Tl_2SO_4	4800	0.57
		2800	0.30			4800	0.34
		2900	0.19			5000	0.14

Kont. spektrum har försvårat exakta mätningar.

Tab. XX. (Fortsättning.)

Spektrallinje $\mu\mu$	Förening	Spänning Volt	Ström Milliamp.
478	$Zn\,Cl_2$	4800	0.55
		4800	0.30
		4900	0.14
	$Zn\,SO_4$	4800	0.59
		4900	0.33
		4900	0.15
508	$Cd\,J_2$	4000	0.58
		4000	0.33
		4500	0.13
	$Cd\,Cl_2$	4400	0.55
		4400	0.33
		4700	0.19
	$Cd\,CO_3$	4400	0.56
		4400	0.32
		4400	0.15
	$Cd\,SO_4$	4400	0.56
		4400	0.33
		4900	0.15
546	$Hg\,Cl$	2700	Stark förstoftning försvårar exakta mätningar
	$Hg_2\,SO_4$		
	$Hg\,SO_4$		

Spektrallinje $\mu\mu$	Förening	Spänning Volt	Ström Milliamp.
521	$Ag\,NO_3$	>10000	
	$Ag\,Cl$		
522	$Cu\,J$	5200	0.57
		5200	0.33
		5200	0.16
	$Cu\,Cl_2$	5200	0.57
		5200	0.33
		5200	0.17
	$Cu\,SO_4$	5500	0.55
		5500	0.30
		5500	0.19
521	$Cr_2\,S_3$	2600	0.55
		2600	0.39
		2600	0.19
	$Cr_2\,O_3$	3000	0.57
		3000	0.34
		3300	0.17

III. Allmänna slutsatser och jämförelser mellan katod- och kanalstrålars luminiscensverkan.

Redan en ytlig jämförelse mellan mina resultat av spänningsmätningarna hos de element, som förut *Stark* och *Wendt* undersökt, och de resultat, vilka dessa forskare vunnit, visar, hurusom jag genomgående kommit till spänningar, liggande 100 à 300 volt högre än dem, Stark och Wendt uppgivit. Anledningen härtill torde väl med ledning av de upplysningar, som mina mätningar av spänningarnas tröskelvärden vid olika strömstyrkor lämna, till stor del vara att finna i de fullständigt olika strömstyrkeintervall, inom vilka våra forskningar rört sig. Vid förklaringen av denna divergens mellan resultaten får ej heller förglömmas det av mig förut anmärkta sakförhållandet, att min spektralapparat förmodligen var ljussvagare än Starks och Wendts. Kanske har även deras samarbete vid undersökningen haft till följd gynnsammare arbetsbetingelser än dem, jag varit i stånd att åstadkomma.

I likhet med vad som var fallet vid Starks och Wendts uppgifter på spänningarnas tröskelvärden, måste även de här uppgivna värdena på potentialdifferenserna minskas med cirka 100 Volt, om man vill erhålla de elektrostatiska fält, i vilka kanalstrålarna accelererats.

Att fälla definitiva omdömen angående riktigheten i det av Stark och Wendt framställda hypotetiska förloppet vid serielinjernas emission under kanalstrålebombardemanget låter sig svårligen göra med kännedom av det inskränkta försöksmaterial, som insamlats. Särskilt vill jag i detta sammanhang fästa uppmärksamheten på behovet av en vidsträcktare variation av strömstyrkan.

Det av Stark och Wendt framkastade antagandet, att alla metaller äro i stånd att emittera serielinjer i följd av kanalstrålars stöt vid ytan av metallernas fasta färglösa föreningar, kan man med fog påstå vara verifierat genom min till flera tunga metaller utsträckta undersökning. Det

negativa resultatet vid *Fe*-salterna jävar ej denna slutsats, då man apriori endast med kännedom av det oerhört stora antal frekvenser, i vilka järn strålar, kan förutsätta, att dessa salter fordra större hastighet hos kanalstrålarna för serieemissionens framträdande än dem, vilka jag förmått realisera.

Ehuru den nyss omtalade bristfälliga variationen av strömstyrkan lagt hinder i vägen för ett ingående upprepande av Starks och Wendts försöksbetingelser, vågar jag det oaktat förebringa, att mina resultat i stort sett måste anses bekräfta Starks och Wendts slutsatser. På ett par punkter måste jag dock framhäva skiljaktigheten i våra resultat, nämligen vad som rör konstansen hos spänningarnas tröskelvärden, dels då strömstyrkan förändras, dels då olika salter av samma metall undersökas. Kanske denna resultatens skiljaktighet helt enkelt har sin grund i de olika strömstyrkor, med vilka vi arbetat? Medan de av mig använda strömstyrkorna varierat inom ett intervall av 0.11 à 0.62 milliamp., ha de strömstyrkor, med vilka Stark och Wendt laborerat, aldrig understigit 1 milliamp. och uppgått ända till 15 milliamp. Huru härmed än må förhålla sig, giver redan en flyktig blick på mina tabeller vid handen, att åtminstone inom strömstyrkeintervallet 0.11 à 0.62 milliamp. spänningarnas tröskelvärden ej förhålla sig konstanta utan svagt ökas, då strömstyrkan minskas. Jämfört med resultaten vid katodstrålarna är likväl denna ökning högst ringa. Utan att på något sätt vilja bestrida riktigheten av Starks och Wendts slutsats härutinnan kan jag dock ej undertrycka önskvärdheten av, att dessa forskare vid flera salter, än vad som ifrågakommit, varierat strömstyrkan. Vad så angår de tröskelvärden, som erhållits vid olika salter av samma metall, uppvisa tabellerna den uppenbara regeln, att ju större saltets bildningsvärme är, desto större är tröskelvärdet hos spänningen, eller m. a. o. desto större måste kanalstrålarnas hastighet vara, för att serieemissionen skall inträda. Denna regel kan för övrigt även

spåras i Starks och Wendts tabell (se sid. 62) vid den enda metall, som de på detta sätt undersökt, utan att de tyckas ha fäst större avseende därvid. Även i detta fall ger en jämförelse med katodstrålarnas verkan tillkänna olikhet i katod- och kanalstrålarnas luminiscensväckande egenskaper. Vid katodstrålarna är skillnaden i tröskelvärden vid de skilda salterna synnerligen stor, vid kanalstrålarna är den däremot mycket ringa.

Innan jag avslutar detta kapitel, vill jag ägna en kort uppmärksamhet åt en annan olikhet mellan katod- och kanalstrålarnas verkan, nämligen vad som angår uppträdandet av efterfärger hos de bombarderade salterna, då strålarna upphört att verka. Medan katodstrålarna ofelbart kvarlämnade en för den ingående metallen karaktäristisk efterfärg hos det bestrålade saltet, så snart metallens spektrallinjer varit synliga, uppvisa kanalstrålarna endast i undantagsfall en dylik verkan. Vid *Na*-salterna har jag sporadiskt kunnat varsebli en övergående blå färg vid kanalstrålebombardemang av salterna, vilken dock omedelbart försvunnit. Det enda spår, som kanalstrålarna i övrigt kvarlämnat hos de bestrålade salterna av alkali- och alkaliska jordmetallerna, har bestått i en viss obestämd svärtning. Vid de tunga metallernas salter har däremot ofta, sedan linjeluminiscens varit för handen, avskilts fint fördelad metall. Kvicksilversalterna gråfärgades sålunda, kopparsalterna blevo rödgulskimrande, silversalterna överdrogos med en yta av vitt utfällt silver o. s. v. Denna reduktionsprocess av tunga metallsalter och metalloxider har förut av *V. Kohlschütter*[1] iakttagits vid väte- och kvävekanalstrålar. Han har också funnit, att i mitten av *Na Cl* en blå fläck uppstår efter några minuters bombardemang med kanalstrålar, och att den blå fläcken avfärgas, så snart luft insläppes i urladdningsröret.

Sammanställas de gjorda iakttagelserna torde framgå,

[1] V. Kohlschütter, Zeitschr. f. Elektrochem. *17*, p. 393 (1911).

att frånvaron av karaktäristiska efterfärger hos alkali- och alkaliska jordmetallernas salter samt hos några tunga metallers salter vid kanalstrålebombardemang beror på inträdandet av avfärgande kemiska reaktioner mellan de utfällda metallerna, som förläna salterna de karaktäristiska efterfärgerna, och kanalstråleatomerna eller det av dessa joniserade gasinnehållet i urladdningsröret. När man, som jag gjort, arbetar med en blandning av syre- och kvävekanalstrålar, är det tydligt, att de undersökta metallernas oxiderbarhet bör spela in. Det har ju också visat sig, att det är de mest oxiderbara metallernas salter, som förbli färglösa (bildandet av färglösa oxider), medan de mindre oxiderbara tunga metallernas salter ofta bära ett tunt skiktat ytlager metall, sedan urladdningen upphört, och luft insläppts till provet.

Samma fenomen, uppträdandet av kemiska reaktioner mellan kanalstråleatomerna och de av dem bombarderade salterna, finner jag osökt kunna förklara den vid kanalstråleluminiscens förefintliga svaga variationen av tröskelvärdet för serieemission, då anjonerna hos en metalls salter varieras. Vid katodstrålarnas verkan äro dylika kemiska reaktioner mindre sannolika. Därför äro också i detta fall tröskelvärdena starkt föränderliga med de olika salterna av samma metall. Osannolikt är, att den av J. Stark uppställda hypotesen för förklaringen härav kan ha betydelse. Enligt densamma skulle det arbete, som erfordras för att lösslita en metallatom från dess kemiska förening, vara försvinnande litet jämfört med den totala energi, som atomen i form av potentiell, kinetisk och optisk energi erhåller av de bombarderande kanalstrålepartiklarna vid den kemiska föreningens sönderdelning.

Till sist gäller det att förklara den vid kanalstrålars verkan svaga variationen av tröskelvärdet på urladdningspotentialen, då strömstyrkan varieras, och den under samma omständigheter befunna starka variationen av tröskelvärdet vid katodstrålars stöt. Den förklaringen ger sig lättast

genom att helt enkelt hänvisa till den olika storleksordningen hos de bombarderande partiklarna i det ena eller andra fallet och den därav förorsakade olikheten i deras verkningssätt. Vad då först katodstråleelektronerna angår, så erhålla de i det accelererande fältet en oerhörd hastighet. Då de vidare äro riktade mot ett visst håll på ett konglomerat av mål, som åtskiljas av vissa mellanrum, och som tillsammans bilda ett rätt stort djup, är sannolikheten för träff på de enstaka föremålen större, ju större elektronernas antal är. Ökas elektronernas hastighet, ökas samtidigt deras genomtränglighet. Det är därför tänkbart att en och samma elektron på sin väg fram kan genomborra och träffa flera mål. Man skulle närmast tänka sig, att, så snart de enstaka elektronerna uppnått undre gränsen för joniseringsenergi, sannolikheten för ljusexcitation vore proportionell mot produkten av elektronernas antal, deras massa och kvadraten på deras hastighet, alltså mot deras sammanlagda förråd av kinetisk energi. Kanalstråleatomerna däremot ha en tusenfaldigt större massa än de omhandlade katodstråleelektronerna och utslungas med långt mindre hastighet än dessa. Deras genomtränglighet är därför ej stor. Det oaktat är sannolikheten för att en partikel i detta fall skall få träff så avsevärd, att, om målen ej befinna sig på alltför stort avstånd från varandra, varje partikel bör råka sitt mål. På detta sätt förklaras, att tröskelvärdet vid kanalstrålebombardemang så ytterligt svagt varierar med strömstyrkan, d. v. s. med de påfallande kanalstrålarnas antal. Eftersom sannolikheten för träff i detta fall är så stor, kommer en ökning av de bombarderande partiklarnas antal ej att i högre grad öka den totala träffsäkerheten. Annorlunda är däremot förhållandet vid katodstrålarna. På grund av elektronernas litenhet falla massor av dem på det bombarderade saltet utan att utöva någon verkan, de passera genom de intermolekylära mellanrummen. Här bör alltså en ökning av de bombarderande partiklarnas antal spela en stor roll och i betydlig mån föröka de sam-

manlagda träffarnas antal. Naturligtvis motsvarar ej detta resonemang verkligheten fullständigt. På grund av de bombarderande partiklarnas laddning kompliceras fenomenet mera än här är angivet. För kanalstrålarnas vidkommande bör utredningen bäst slå in, eftersom där även neutrala atomer äro tillfinnandes. Uteslutet är ej, att de sålunda medförda laddningarna hos katodstrålarna äro orsak till, att den totala katodstråleenergi, vid vilken linjeluminiscens framträder, minskas med ökning av strålarnas hastighet. För övrigt torde det vara lönlöst att närmare ingå på detta problem i det outvecklade stadium, i vilket atomdynamiken ännu befinner sig.

Sammanfattning.

I korthet kunna resultaten av föreliggande avhandling sammanfattas i följande satser:

1) Det har lyckats att med användande av ett longitudinellt magnetfält, verkande i katodstrålars rörelseriktning, koncentrera katodstrålar i skarpt markerade punkter på oorganiska salter av alkalimetallernas och en del tunga metallers grupper och därigenom bringa resp. metaller att emittera sina serielinjer.

Den energi hos katodstrålarna, vid vilken en metalls serieemission inträder, varierar starkt med metallens olika salter och är desto större, ju större saltets bildningsvärme är.

Ifrågavarande tröskelvärde på energien avtager, då urladdningspotentialen, d. v. s. katodstrålarnas hastighet, ökas.

Vid flytande lufts temperatur har ingen serieemission hos salter under katodstrålars stöt kunnat upptäckas.

2) En ny metod har blivit föreslagen att undersöka spektrallinjers uppdelning i elektrostatiska fält genom att låta fältet verka tvärs genom den i serieemission lysande metallånga, som bildas ovanför vissa metallers salter vid bombardemang av energistarka katodstrålar.

3) Då salterna av katodstrålar exciterats till serieemisson, uppvisa de för den ingående metallen karaktäristiska efterfärger. Dessa efterfärger överensstämma synnerligen väl med färgerna hos samma metallers kolloida vätskelösningar. Beträffande efterfärgernas uppkomst har den slutsatsen dragits, att de härröra från fasta lösningar eller kolloida suspensioner av metallpartiklar i överskott af salterna.

4) En del iakttagelser angående katodstrålars förstoftande inverkan ha meddelats.

5) Den förut av *J. Stark* och *G. Wendt* undersökta serieemissionen av alkali- och alkaliska jordmetallernas salter under kanalstrålars stöt har underställts förnyad prövning med användande av lägre strömstyrka, än dessa forskare begagnat. Likaså har med samma försöksbetingelser förmedels kanalstråleexcitation erhållits serieemission hos en del tunga metallers salter.

Den av Stark och Wendt dragna slutsatsen, att serieemissionen under kanalstrålars stöt inträder först ovanför bestämda tröskelvärden på urladdningspotentialen, har bekräftats. Däremot har ej det av dessa forskare gjorda antagandet, att sistnämnda tröskelvärden skulle vara oberoende af strömstyrkan i urladdningsröret och för en viss metall oberoende av den kemiska föreningen, i allo befunnits riktigt. Variationen hos tröskelvärdet, då strömstyrkan förändras, eller då den kemiska föreningen hos en viss metall utbytes, är dock högst ringa, jämfört med förhållandena vid katodstrålar. Tröskelvärdet på urladdningspotentialen ökas svagt, då bildningsvärmet hos en metalls salter ökas.

6) Till sist har uppdragits en jämförelse mellan katod- och kanalstrålarnas verkan, varvid gjorts gällande, att för kanalstrålarnas vidkommande ofta kemiska reaktioner mellan dem och de bombarderade salterna inträda. I övrigt har försökts att förklara skillnaden mellan katod- och kanalstrålarnas verkan ur den olika storleksordningen på de ingående partiklarnas massor.